الطب النووي

Nuclear Medicine

الطبعة الأولى 2016

حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة

© المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية- ACMLS

ردمك : ISBN 978-99966-34-96-3

www.acmls.org

ص. ب. 5225 الصفاة - رمز بريدي 13053- دولة الكويت

تليفون : 2/1/25338610-965+ فاكس : 9/25338618-965+

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية (أكملز)

الطب النووي

تأليف : د. إيمان مطر الشمري
د. جيهان مطر الشمري

مراجعة وتحرير
المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

سلسلة المناهج الطبية العربية (167)

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية (أكملز)
دولة الكويت

الطب النووي

تأليف

د. إيمان مطر الشمري و د. جيهان مطر الشمري

مراجعة وتحرير

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

سلسلة المناهج الطبية العربية

الطبعة العربية الأولى 2016

ردمك: 978-99966-34-96-3

حقوق النشر و التوزيع محفوظة

للمركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

(هذا الكتاب يعبر عن وجهة نظر المؤلف ولا يتحمل المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية أية مسؤولية أو تبعات عن مضمون الكتاب)

ص.ب 5225 الصفاة ـ رمز بريدي 13053 ـ دولة الكويت

هاتف : 25338610/1/2 (965)+ فاكس : 25338618/9 (965)+

البريد الإلكتروني: acmls@acmls.org

بسم الله الرحمن الرحيم

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية (أكملز)

منظمة عربية تتبع مجلس وزراء الصحة العرب، ومقرها الدائم دولة الكويت وتهدف إلى:

- توفير الوسائل العلمية والعملية لتعليم الطب في الوطن العربي.
- تبادل الثقافة والمعلومات في الحضارة العربية وغيرها من الحضارات في المجالات الصحية والطبية.
- دعم وتشجيع حركة التأليف والترجمة باللغة العربية في مجالات العلوم الصحية.
- إصدار الدوريات والمطبوعات والأدوات الأساسية لبنية المعلومات الطبية العربية في الوطن العربي.
- تجميع الإنتاج الفكري الطبي العربي وحصره وتنظيمه وإنشاء قاعدة معلومات متطورة لهذا الإنتاج.
- ترجمة البحوث الطبية إلى اللغة العربية.
- إعداد المناهج الطبية باللغة العربية للاستفادة منها في كليات ومعاهد العلوم الطبية والصحية.

ويتكون المركز من مجلس أمناء حيث تشرف عليه أمانة عامة، وقطاعات إدارية وفنية تقوم بشؤون الترجمة والتأليف والنشر والمعلومات، كما يقوم المركز بوضع الخطط المتكاملة والمرنة للتأليف والترجمة في المجالات الطبية شاملة المصطلحات والمطبوعات الأساسية والقواميس، والموسوعات والأدلة والمسوحات الضرورية لبنية المعلومات الطبية العربية، فضلاً عن إعداد المناهج الطبية وتقديم خدمات المعلومات الأساسية للإنتاج الفكري الطبي العربي.

المحتويات

المقدمة	:		ج
التمهيد	:		هـ
المؤلف في سطور	:		ز
مقدمة الكتاب	:		ط
الفصل الأول	:	تاريخ الطب النووي	1
الفصل الثاني	:	مفهوم الطب النووي	17
الفصل الثالث	:	استخدامات الإشعاع النووي	39
الفصل الرابع	:	مصادر المواد والأدوية المشعة	53
الفصل الخامس	:	حماية البيئة والعاملين في مجال الطب النووي	61
المراجع	:		73

المقدمة

الطب (باللاتينية Medicina) أي فن المعالجة، وهو العلم الذي يجمع الخبرات الإنسانية في الاهتمام بالإنسان والحيوان وما يعتريه من أمراض بدنية أو نفسية، ويحاول إيجاد العلاج الدوائي أو الجراحي للشفاء من هذه الأمراض، كما يتناول الطب العوامل المسببة للأمراض وطرق تفاديها والوقاية منها. والطب هو علم تطبيقي يستفيد من التجارب البشرية على مدار التاريخ، وفي العصر الحديث اعتمد الطب على الدراسات العلمية والتجارب الإكلينيكية. والطب مهنة قديمة تطورت عبر الحضارات إلى أن حدثت النقلة النوعية في زمن الإغريق واليونان بظهور "أبقراط" وهو من أشهر الأطباء عبر التاريخ ثم أتى من بعده (ابن سينا) وعرف بأنه أول الباحثين في مجال الطب النفسي، وأول من أعطى الدواء عن طريق الحقن. و (ابن النفيس) الذي اكتشف الدورة الدموية الصغرى، وغيرهم من العلماء الذين لا تزال أعمالهم تدرس حتى الآن.

تتألف خطوات الإجراء الطبي من عدة مراحل تبدأ بتحديد حالة المريض والتعرف على الأعراض والتوصل إلى مسببات المرض وآليته مما يؤول إلى تشخيص المريض، وهناك أعراض تتشابه بين عدة أمراض، وهنا يعتمد الطبيب على التشخيص التفريقي، وبمجرد تشخيص الحالة يمكن للطبيب تحديد طرق المعالجة. وفي العصر الحديث اتحد الطب والهندسة معاً وشكلا مجالاً جديداً يسمى الهندسة الطبية، هذا المجال الجديد يستخدم الأسس الهندسية لبناء آلات ومعدات لتشخيص وعلاج المريض. ولقد ساعدت الهندسة الطبية على الفحص الطبي للأمراض مما أدى إلى خفض معدل الوفيات بزيادة قدرة الأطباء على الفحص.

نأمل أن يحقق هذا الكتاب الفائدة المرجوة منه وأن يضيف المزيد من الثقافة .

والله ولي التوفيق،،

الدكتور/ عبد الرحمن عبد الله العوضي

الأمين العام

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

التمهيد

يعد الطب النووي أحد فروع الطب الذي تم الاعتراف به من قِبل العالم كتخصص في عام 1940. وسمي بهذا الاسم، نظراً لأن الأشعة المستخدمة فيه مصدرها نواة الذَرة. ويتم إعطاء الإشعاع للمريض إما عن طريق الحقن الوريدي، أو عن طريق الفم، أو الاستنشاق، وتختلف كمية وتركيب المادة المشعة باختلاف عمر المريض والعضو المراد تشخيصه أو معالجته. والإشعاع هو طاقة تنبعث من مصدر ما، وتنتقل خلال الوسط المحيط بها سواء أكان مادياً أو فراغاً، وقد يحدث تفاعل بينهما، أو لا يحدث، وعلى ذلك فإن التعريف الأصح لكلمة إشعاع هو طاقة في حالة انتقال. ومصادر الإشعاع إما طبيعية مثل: الشمس والتربة، أو صناعية مثل: أجهزة توليد الأشعة السينية، أو أجهزة اللاسلكي.

وللإشعاع النووي استخدامات عديدة فمثلاً: في مجال الطب يستخدم لتشخيص ومعالجة بعض الأمراض مثل زيادة نشاط الغدة الدرقية، أورام الكبد، أورام المفاصل. ويتطلب التشخيص باستخدام الإشعاع النووي بعض الإجراءات للحصول على نتيجة أكثر دقة مثل منع بعض الأطعمة أو الأدوية عن المريض، وكذلك استخدام دروع أو حواجز واقية لحماية أجزاء الجسم غير المرغوب في تعرضها للأشعة. وهناك استخدامات أخرى للإشعاع النووي نجدها في مجال الزراعة حيث تم إحداث طفرات نوعية في بذور بعض النباتات من خلال تغير التركيب الجيني لها للحصول على أصناف جديدة تتميز بالمقاومة العالية للأمراض، كما استخدمت الأشعة النووية في مجال مكافحة الحشرات الضارة بالنباتات. وتعتمد الوقاية من الآثار الجانبية للإشعاع على تحديد الجرعة المطلوبة لكل مريض، وعدم تجاوزها، وتقليل زمن التعرض الإشعاعي، وزيادة المسافة بين المصدر المشع والمريض، وعلى العاملين في هذا المجال الالتزام بارتداء الملابس الواقية.

يقسم هذا الكتاب إلى خمسة فصول حيث يتناول الفصل الأول تاريخ الطب النووي، ويتحدث الفصل الثاني عن مفهوم الطب النووي، ثم يعرض الفصل الثالث استخدامات الإشعاع النووي ويشرح الفصل الرابع مصادر المواد والأدوية المشعة ويختتم الكتاب بالفصل الخامس بالحديث عن حماية البيئة والعاملين في مجال الطب النووي.

نأمل أن يكون هذا الكتاب إضافة لسلسلة المناهج الصحية وأن يستفيد القارئ بكل ما تم طرحه في الكتاب.

والله ولي التوفيق،،

الدكتور/ يعقوب أحمد الشراح
الأمين العام المساعد
المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية

المؤلف في سطور

د. إيمان مطر الشمري

- كويتية الجنسية، مواليد عام 1964.
- حاصلة على بكالوريوس الطب والجراحة - كلية الطب - جامعة الكويت - عام 1988.
- حاصلة على البورد الكويتي في الطب النووي - عام 1994.
- تعمل استشاري الطب النووي - وزارة الصحة - دولة الكويت.

د. جيهان مطر الشمري

- كويتية الجنسية، مواليد عام 1970.
- حاصلة على شهادة الماجستير في الوقاية من الإشعاع النووي - جامعة سرى - لندن - عام 2003.
- حاصلة على درجة الدكتوراه في بيولوجيا الإشعاع - جامعة أبردين - أسكتلندا عام 2013.
- تعمل مدرس مساعد مشارك - قسم الطب النووي - كلية الطب - جامعة الكويت.

مقدمة الكتاب

الحمد الله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وآله وصحبه الكرام البررة ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

أخي القارئ الفاضل ... نتوجه إليك بكتابنا هذا آملين من الله السداد والتوفيق ومنكم القبول والاستفادة.

في عصرنا الحالي الذي هو وقت ذهبي للتكنولوجيا، ينقل الخبر فيه (ومنه الخبر العلمي) بسرعة البرق ليدور حول العالم بأسره في ساعات معدودة. ولكن تقف المكتبة العربية بجمود، مفتقرة للكتب العلمية المتخصصة بشكل عام وللكتب الطبية بشكل خاص. ومن هذه التخصصات المفقودة علمياً في المكتبة العربية هو تخصص الطب النووي.

ولأن موضوع الطب النووي غالباً ما يرتكز على شرح مفهوم الإشعاع النووي الذي يعمل به الطب النووي ، فإن التطرق والتصدي لكتابة أي كتاب عنه غالباً ما يكون فاقداً لأسس علمية وتطبيقية واضحة يرجع ذلك إلى حقيقة أنه لا توجد أية دولة عربية حتى الآن تنتج ـ وبشكل مباشر ـ الإشعاع النووي من مفاعلاتها ومنشآتها الخاصة بها.

وعليه، جاء هذا الكتاب ـ كبداية ـ ليطرح ما نعرفه عن الطب النووي في وقتنا الحالي وفي حدود ما نمارسه يومياً من المهنة وما نطبقه من علم تعلمناه مع مرضانا. في هذا الكتاب، نتناول المفاهيم الأساسية مثل الإشعاع تاريخياً وعلمياً، وتطبيق المفاهيم مثل الفحوصات الطبية الحالية المعمول بها في أغلب المستشفيات والمنشآت التي تعمل على أسس علمية عالمية.

وبالمختصر المفيد ... فإن كتابنا يتكلم عن أساسيات عمل الطب النووي.. فما هي؟

إن عمل الطب النووي يتطلب تقنية عالية جداً لتصنيع المواد والأجهزة المستخدمة، ولكنه ـ من ناحية أخرى ـ سهل التطبيق وواضح النتائج، ويمكن إيجازه من خلال هذه الخطوات:

المريض: وهو الـذي يكـون مصـدر الأشـعة في الفحص بعد أن يأخذ المادة المشعة أو (المركب الإشعاعي) عن طريق البلع أو الحقن أو الاستنشاق، و يتم تصويره ـ غالباً ـ تحت الجهاز التصويري.

المادة المشعة أو (المركب الإشعاعي): المادة المشعة المستخدمة في التصوير تعتمد نوعيتها على العضو المطلوب تصويره عند المريض وتعتمد كميتها على وزن وعمر المريض. وتتوزع المادة المشعة في جسم المريض بصورة معينة تعكس الحالة الوظيفية للمريض.

الجهاز التصويري (الكاميرا): في أغلب فحوصات الطب النووي ، يقوم الاختصاصي الفني بتصوير المريض تحت الجهاز التصويري الذي يطلق عليه اسم الـ جاما كاميرا. وكأي كاميرا ، يلتقط هذا الجهاز الأشعة النووية (بـدلاً عن الضوء في الكاميرا العادية) المنبعثة من المصدر (المريض) ويكون صوراً تظهر أماكن تركيزها وتوزّعها في الجسم. وترتبط الـ جاما كاميرا بكمبيوتر تظهر عليه صور العضو المصور بشكل متحرك أو ساكن ، ثم يتم تحويل هذه المعلومات المصوّرة إلى تقرير طبي معتمد من طبيب مختصص في الطب النووي.

النتائج والتقارير: تعتبر التقارير الصادرة من أقسام الطب النووي من أكثر التقارير دقة وصحة في عالم الطب الحديث ، ويعتمد عليها الكثير من الأطباء من مختلف التخصصات في وقتنا الحالي نظراً لأهميتها ودقتها.

بقي أن نشير للفريق العامل في أقسام الطب النووي في أي مستشفى أو منشأة تعتمد على المعايير العالمية في العمل. يتكون فريق العمل عادةً من:

الطبيب المختص: وهو الذي يقوم ـ عادةً ـ بإعطاء المريض الجرعة المشعة بعد التأكد من تاريخه المرضي ومدى لياقته الجسدية والنفسية للفحص ، وهو المخول باعتماد التقرير الطبي النهائي.

الاختصاصي الفني: وهو المسؤول عـن نجاح عملية تصوير المريض وتوفـير صور واضحة للطبيب لكي يترجمها لتقرير طبي.

الفيزيائي النووي: وهو المختص بمعايرة الأجهزة الطبية في القسم وكاميرات الـ (جاما كاميرا) والحرص على عملهم بتقنية كاملة.

مسؤول الوقاية من الإشعاع: وهو المختص بضمان معايير السلامة العالمية للحفاظ على مستوى إشعاع آمن لكلٍ مـن المرضى والعاملـين بالقسم، كما إنه مسؤول عن التبليغ عن

أي تلوث إشعاعي في القسم وتطبيق طرق إزالة التلوث الإشعاعي (التطهير) عند الحوادث.

مسؤول المعمل الحار ـ الكيميائي الإشعاعي: وهو المسؤول عن تحضير المادة المشعة من مصدرها الخام وحقنها بالأدوية المناسبة تمهيداً لإعطائها للمرضى كل حسب حالته.

الهيئة التمريضية: وعليها يقع عبء تحضير المرضى للفحص، والتواجد لأي طارئ قد يحصل أثناء عمل الفحص، ومرافقة المريض من وقت دخوله إلى القسم وحتى خروجه منه.

هذا، ونتمنى أن يحوز هذا الكتاب اهتمام القارئ بما يقدمه من شرح بشيء من التفصيل الموضوعي والعلمي فيجد فيه القارئ ما كان ينشد إليه ويستفسر عنه.

والله ولي التوفيق،،

د. إيمان مطر الشمري

د. جيهان مطر الشمري

الفصل الأول

تاريخ الطب النووي

يربط الكثيرون ميلاد الطب النووي باكتشاف النظائر المشعة المصنعة على أيدي العالمين إيرين كوري و جوليو فردريك (Joliot Frédéric) عام (1934)، وبالإمكان القـول إن الطـب النووي، بمفهومه الحالي قد بدأ منذ بدء استخدام اليود - 131 المشع في عام (1940)، واعتراف العالم بالطب النووي كتخصص في ديسمبر عام (1946)، وذلك عندما تم نشر مقالة في مجلة الرابطة الطبية الأمريكية عن العلاج الناجح لمريض مصاب بسرطان الغدة الدرقية باستخدام اليود - 131 المشع. إلا أن الاستخدام الإكلينيكي للطب النووي بدأ على نطاق واسع في أوائل الخمسينيات من العقد الماضي، وتشكلت جمعية الطب النووي في عام (1960) بالولايات المتحدة الأمريكية، وفي نفس الفترة تقريباً تـم إنتـاج مـادة التكنيشـيوم 99m، العنصر الأكثر استخداماً في الطب النووي. ومنذ السبعينيات أصبحت فحوص الطب النووي تستخدم على نطاق واسع، وتأسست الرابطة الطبية الأمريكية للطب النووي، معترفة بالطب النووي كتخصص طبي.

يعتبر الربع الأخير من القرن التاسع عشر هو مسرح اهتمام علماء الفيزياء والكيمياء النووية وذلك لاستكشاف بناء الذرة، فتم إجراء العديد من التجارب العلمية التي تساعدهم. ويحسب لعام (1895) أنه كان انطلاقة لسلسلة طويلة من الاكتشافات العلمية في عصر ذهبي في مجال العلم وهو عصر الإشعاعات المؤينة الذي فتح الطريق إلى تطبيقات مذهلة للإشعاع في مجالات كثيرة ومتعددة يبقى من أهمها الطب الحديث. لقبت هذه الفترة بالحقبة الذهبية لأنها هي الحقبة الزمنية التي كانت زاخرة بالاختراعات العلمية وتضمنت اكتشافات مهمة واختراعات قيمة تطورت بدورها إلى اختراعات أكثر قيمة.

ومن أهم ما قام العلماء باكتشافه:

- اكتشاف الذرة، تعريفها، وتحديد وظيفتها وأجزائها.
- اكتشاف الأشعة السينية وعرض مميزاتها.
- اكتشاف خاصية النشاط الإشعاعي لبعض أنواع الذرات النشطة.
- تعريف النشاط الإشعاعي ووضع وحدات لقياسه.
- اكتشاف أنواع الإشعاع المؤين.
- اكتشاف بعض أهم المواد المشعة مثل الراديوم والبولونيوم.
- استخدام النظائر المشعة في الطب وما تمخض عنه في وقتنا الحالي من استخدامها في الأبحاث العلمية وتوليد الطاقة وغيرها من المجالات المهمة.
- ابتكار المفاعلات والمعجلات النووية.
- اختراع الكاميرا الوميضية والجاما كاميرا.

ولقد كتب التاريخ بأحرف من ذهب أهم الاكتشافات العلمية التي تمخضت عن ما وصل إليه الطب النووي في عصرنا الحديث هذا، وتشارك كثير من العلماء دور الريادة في هذه الفترة الذهبية وقادوا سفينة الاختراعات والاكتشافات بحرفية وتفان مطلق، إلا أنه كان من بينهم من هم أكثر تميزاً وأشد تبايناً من غيرهم. وقد خلّد التاريخ أشخاصاً كتبوا أسماءهم بزهوٍ في لوح العلم الحديث. وفيما يلي أهم هذه الإنجازات و هؤلاء العلماء وما قاموا به من أبحاث.

الأشعة السينية (X-Ray):

يعود الفضل في اكتشاف الأشعة السينية للعالم «ويليام كونراد رونتجن» (Wilhelm Conrad Röntgen) عام (1895) الذي كان يجري معظم تجاربه على أنبوبة كروكس لأشعة الكاثود حتى تمكن من اكتشاف الأشعة السينية و تعرف على كيفية تطبيقها.

العالم الألماني ويليام كونراد رونتجن:

ولد في عام (1845). كان طالباً لامعاً وشغوفاً بالعلم. ابتدأ حياته العلمية كطالب في كلية الهندسة، ثم تخصص في علم الفيزياء حتى إنه حصل على درجة الدكتوراه فيها، ثم درجة الأستاذية بجامعة فورتسبورج بألمانيا. كما أنه حصل على درجة الدكتوراه الشرفية في الطب من نفس الجامعة. عكف رونتجن على العمل على تجاربه العملية في مجال دراسة ظاهرة التألق الضوئي للمواد.

كان يجري معظم تجاربه على أنبوبة كروكس لأشعة الكاثود (سميت الأنبوبة كروكس نسبةً لمخترعها العالم ويليام كروكس William Crookes)، والأنبوبة عبارة عن انتفاخ زجاجي مفرغ من الهواء، ويحتوي على قطبين كهربيين متقابلين أحدهما سالب وهو سلك يسخن كهربياً (الكاثود)، والآخر موجب وهو شريحة معدنية (الآنود). وعند تطبيق فرق جهد كهربي على هذين القطبين تنطلق أشعة لم تكن مفسرة آنذاك، وكانت تسمى بأشعة الكاثود وهي عبارة عن نور وهاج داخل الأنبوبة.

وفي إحدى ليالي عام (1895) وأثناء التجارب المعتادة على الأنبوبة، وضع رونتجن ـ من قبيل الصدفة البحتة ـ بلورات الباريوم بلاتينوسيانيد بجانب أنبوبة الكاثود حيث يجري تجاربه واستغرب كثيراً من التألق الضوئي الحاصل في الأنبوبة، فقام بزيادة فرق الجهد على طرفي الأنبوبة مستخدماً ملف رومكورف مولّداً أشعة جديدة غير مرئية صادرة من أنبوبة أشعة الكاثود على البلورات (عرفت فيما بعد بالأشعة السينية أي: الأشعة الغامضة)، وقد أسماها بذلك لأنه لم يكن قادراً على رؤيتها أو فهم طبيعتها وخصائصها.

اكتشف رونتجن أن هذه الأشعة الغامضة وغير المرئية لها قدرة عالية على اختراق المواد مثل الخشب والورق والألومينيوم. حيث قام بتغطية أنبوبة الكاثود برقائق مصنوعة من هذه المواد فحجبت الضوء الصادر من الأنبوبة بينما استمرت ظاهرة الوميض الاستشعاعي لبلورات الباريوم بلاتينوسيانيد. وبينما كان يختبر قدرة الإشعاع على اختراق مادة الرصاص، اكتشف قدرتها على اختراق الأنسجة للجسم البشري دون العظام مما شجعه لعمل أول تصوير تشريحي لجسم الإنسان لفحص حالة العظام باستخدام الأشعة السينية.كان أول تصوير تشريحي أجراه ليدي زوجته «آنا بيرثا» التي قالت بعد أن رأت صورة عظام يديها :"لقد رأيت اليوم موتي".

توالت بعدها التجارب في هذا المجال حيث أعلن رونتجن عن اكتشافه هذا للعالم في يونيو عام (1896)، كما نشر ثلاث أوراق علمية مثبتة عن الأشعة السينية ما بين الأعوام (1895 - 1897). حـاول المجتمع العلمي والطبي والأكاديمي وقتها تسمية الأشعة باسمه (أشعة رونتجن) إلا أنــه رفــض ذلك وأصر على تسميتها الحالية (أشعة إكس)، كما رفض استخراج براءة اختراع باكتشافه وأصر على أن يبقى متاحاً للعالم كله.

ولقد كان هذا الاكتشاف هو بداية لثورة علمية كبيرة في جميع المجالات وبخاصة الفيزيائية والطبية حيث إنه سرعان ما انتشرت تقنية التصوير بالأشعة السينية في العالم كله فـي مجـالات الطب البشري وطب الأسـنان، وأصبح التصوير الإشعاعي باستخدام الأشعة السينية علماً يعرف باسم علم الأشعة (Radiology). نال رونتجن جائزة نوبل في الفيزياء على اكتشافه الأشعة السينية عام (1901) وتوفي عام (1923) بألمانيا عن عمر يناهز (78) عاماً بعد صراع مع مرض سرطان الأمعاء.

النشاط الإشعاعي التلقائي (1896):

بعد اكتشاف الأشعة السينية (X-Ray) بعام واحد فقط، اكتشف العالم الكبير «هنري بيكريل» (Henri Becquerel) ظاهرة النشاط الإشعاعي التي تعتبر الظاهرة التي مهدت لظهور علم الطب النووي. فيما يلي سرداً لما قام به العالم «هنري بيكريـل» أثناء اكتشافه هذا و من ساعده من العلماء في دربه هذا.

العالم هنري بيكريل:

ولد عام (1852) في فرنسا، وترعرع في كنف أسرة علمية بحتة، فقد كان جده «أنطوان سيزار بيكريل» عالماً في مجال الكيمياء الكهربية ونشر كثيراً من الأبحاث العلمية وتوصل لكثير من الاكتشافات فيها، وكـان والـده «ألكســندر إدموند بيكريل» عالماً فذاً في مجال الفيزياء. عمل كلٌّ من الجد والوالد في المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي بباريس كباحثين وأستاذين في المتحف، وكان آنذاك يعتبر من أكبر المراكز العلمية في العالم بأسره.

تـلقـى العالـم «هنـري بيريل» تعليمـه الثانوي والجامعي في أشـهر المعاهد الفرنيســية كمدرســة لويــس لــو جرانوليكول بوليتكنيك، وسار على خطى والده في شغفه بالفيزياء. واستكمالاً لأبحاث والده بعد وفاته، عكف على دراســة ظاهرتي التألق الضـوئي والوميــض الفسفوري.

وتتشابه الظاهرتان في انبعاث ضوء عادي من بعض المواد عند سقوط أشعة عليها، بينما تختلفان في أن الانبعاث الضوئي يتوقف بتوقف التشعيع في حالة الاستشعاع الضوئي، ويستمر الانبعاث لوقت أطول بقليل بعد انتهاء التشعيع في حالة الوميض الفسفوري. وبينما كان بيكريل يدرس ظاهرة الوميض الفسفوري لبلورات اليورانيوم بعد تعريضها لأشعة الشمس، فوجئ يوماً أن هذه البلورات استمرت بالوميض بنفس درجة الوميض السابق وبنفس الكثافة على الرغم من أن سماء باريس ذلك اليوم كانت ملبدة بالغيوم ولم تظهر الشمس بتاتاً. كان بيكيريل في ذلك الوقت يسجل الوميض الصادر من البلورات على ألواح فوتوغرافية، وكان تفسيره لهذه المشاهدة الجديدة بأن مصدر الوميض الضوئي هو نتاج أشعة تنبعث من اليورانيوم نفسه وليس لها علاقة بظاهرة الوميض الفسفوري المستمدة من أشعة الشمس. ولكي يثبت استنتاجه، قام بوضع شرائح فوتوغرافية تحتوي على مادة البوتاسيوم يورانيل سلفات داخل مكان مظلم لمدة ثلاثة أيام ثم قام بتحميض الشرائح فإذا بها تحتوي على نفس القدر من الوميض الضوئي.

وفي يوم (24) فبراير عام (1896) أعلن هنري بيكريل عن اكتشافه هذا للمجتمع العلمي في اجتماع أكاديمية العلوم مما أثار اهتمام الباحثة «ماري كوري» التي كانت تعمل مع زوجها «بيير كوري» على أبحاث مشابهة، وطلبوا من بيكريل الانضمام إليهم والعمل كفريق عمل متخصص بدراسة هذه الظاهرة واستكمال البحث، ثم اتفقوا على تسمية هذه الظاهرة الجديدة بالنشاط الإشعاعي التلقائي. وكانت المادة الأولى المستكشف لها هذا النشاط هي مادة «اليورانيوم»، التي قامت عليها كل أبحاثهم.

نال «هنري بيكريل» جائزة نوبل للفيزياء على اكتشافه هذه الظاهرة مناصفةً مع آل كوري عام (1903). كما تم تكريمه بالحصول على وسام رمفورد سنة (1900) وعلى وسام «هلمهولتز» عام (1901) وعلى وسام «برنارد» عام (1905). توفي في (25) أغسطس عام (1908) بإنجلترا. وقد سميت وحدة القياس الدولية للنشاط الإشعاعي بيكريل نسبة إليه، وهناك فوهات على القمر والمريخ تحمل اسمه حتى يومنا هذا.

لا يمكن أن نتجاوز اسم العالم لـ«هنري بيكريل» بدون أن نتوقف قليلاً عند أهم اكتشافاته في عالم الإشعاع ألا وهي ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي. فمصطلح النشاط التلقائي هنا يشير إلى كون هذا النشاط مستمراً بشكل متواصل ودائم دون أن يتأثر بالمتغيرات الفيزيائية المحيطة كالحرارة والضغط أو الكثافة، كما أنه مستمر بشكل طبيعي كما هو دون أي تدخل إنساني فيه. بينما يشير لفظ الإشعاع هنا إلى أن الإشعاع المنبعث من اليورانيوم ذا الطاقة العالية يشبه في ذلك الأشعة السينية، ولكنه يختلف عنه بأنه يتكون من جسيمات مشحونة عرفت فيما بعد بجسيمات ألفا وبيتا.

العالمان "بيير" و"ماري" كوري:

كان الفرنسي بيير كوري (Pierre curie) عالماً فيزيائياً متميزاً، تركزت أبحاثه على الظاهرة المغناطيسية للمواد وخاصية الكهرباء الضغطية لبعض البلورات، وفيها يتم توليد تيار كهربي من هذه البلورات إذا وقعت تحت ضغط ميكانيكي معين. التقى بالباحثة ماري سكلودوفسكا وكانت للتو قد أنهت دراستها وحصلت على شهادتها العلمية في تخصص الرياضيات ثم بدأت العمل مع بيير على أبحاث المغناطيسية والميكانيكا. غيّر بيير مجال أبحاثه واهتماماته العلمية بعد زواجه من البولندية «ماري» التي أصبحت بعد زواجها تعرف بماري كوري، وذلك بعد أن رأى اهتمام زوجته في دراسة الإشعاع. بدأ "بيير" و"ماري" في البحث عن ظاهرة النشاط الإشعاعي المكتشفة حديثاً في خام اليورانيوم، وكونا فريق عمل بحثي مع هنري بيكريل (كما سبق ذكره) لدراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي، كما أن التعريف العلمي لمصطلح النشاط الإشعاعي قد تم وضعه من قبل «ماري كوري». وخلال أبحاثها الكيميائية اكتشفت ماري كوري أن المادة الخام التي يستخلص منها عنصر اليورانيوم النقي تصدر إشعاعاً أكثر من معدن اليورانيوم النقي لوحده، مما أكد لها أن المادة الخام لليورانيوم تحتوي على عناصر أخرى مشعة أخرى إلى جانب عنصر اليورانيوم. عملت «ماري كيوري» على عزل العناصر الممكن عزلها في اليورانيوم الخام مما أدى إلى اكتشاف عنصري البولونيوم الذي أسمته بذلك تكريماً لدولة بولندة موطنها الأصلي، والعنصر الآخر هو الراديوم.

وتحت إشراف «هنري بيكريل»، تم منح ماري درجة الدكتوراه من جامعة باريس كما تم منح بيير وماري كوري جائزة نوبل في الفيزياء مناصفةً مع «هنرى بيكريل» نتيجة لأبحاثهم في مجال النشاط الإشعاعي. رفض بيير وماري آنذاك الاحتفاظ بالعائد المادي للجائزة ووزعوه على المحتاجين ومنهم بعض طلبتهم.

عام (1906) توفي «بيير كوري» نتيجة حادث سير أثناء عبوره الطريق فشغلت ماري مكان زوجها بجامعة السوربون بفرنسا لتكون بذلك أول امرأة تحتل هذه المكانة خلال (650) عام، كما كانت أول امرأة تحوز على درجة الأستاذية في هذه الجامعة. كانت تأمل أن تسمح لها إدارة الجامعة بإنشاء مختبر عالمي يحمل اسم زوجها، إلا أن الجامعة رفضت ذلك. وفي عام (1910) أطلق مؤتمر الطب الإشعاعي لفظ كوري (Curie) على الوحدة الأساسية لقياس النشاط الإشعاعي تقديراً لجهود هذين العالمين.

حصلت «ماري كوري» على جائزة نوبل للمرة الثانية عام (1911) في الكيمياء لاكتشافها الراديوم والبولونيوم، وأصبحت بذلك أول شخص يحصل على جائزة نوبل مرتين. واستطاعت بعد ذلك أن تقوم بأبحاث على استخدام الراديوم في علاج السرطان، وتحت إشرافها أجريت أول دراسات لمعالجة الأورام باستخدام النظائر المشعة بعد أن ابتكرت تقنيات خاصة لفصل هذه النظائر المشعة. أسست «ماري كوري» معهدين وهما: كوري للأبحاث في باريس والآخر في وراسو، كما ترأست معهد الراديوم الذي يعرف الآن بمعهد كوري وهو المعمل الإشعاعي الذي أسسه معهد باستيرو جامعة باريس من أجلها وأحد أربعة مختبرات الأبحاث الرئيسية في النشاط الإشعاعي في العالم كله.

تحت قيادة ماري، تخرج من معهد كوري أربعة فائزين بجائزة نوبل منهم ابنتها إيرين جوليو كوري وزوج ابنتها جوليو فردريك. توفيت العالمة «ماري كوري» في الرابع من يوليو عام (1934) بسبب أنيميا (فقر الدم) حادة في الدم التي كان سببها الرئيسي بلا شك هو التعرض المكثف للإشعاع المؤين أثناء إجرائها لتجاربها بدون استخدام أية وسيلة للوقاية الإشعاعية لحماية نفسها بسبب الجهل آنذاك بالتأثيرات السلبية للإشعاع المؤين على الصحة.

اكتشاف الإلكترون عام (1897):

في نفس هذه الفترة تقريباً، اشتغل أحد أهم علماء الفيزياء تجارب عديدة على أنبوبة الكاثود حتى تمخضت تجاربه عن أحد أهم اكتشافات الفيزياء الحديثة، ألا وهو جسيم الإلكترون. هذا العالم هو جوزيف جون طومسون (Joseph John Thomson). فلنتعرف سويّاً عليه وعلى أهم ما قام به من أبحاث في مجال الفيزياء.

الفيزيائي جوزيف جون طومسون:

ولد الفيزيائي جوزيف جون طومسون عام (1856) قرب مدينة مانشستر بإنجلترا. كان نابغة منذ نعومة أظفاره ودرس الفيزياء والرياضيات بكلية الهندسة وهو في الرابعة عشر من عمره بجامعة مانشستر، ثم حصل على منحة دراسية بجامعة كامبريدج، حيث أنهى دراسته الجامعية في الفيزياء النظرية وواصل الدراسات العليا بها. في عام (1884) عمل كبروفيسور في مختبرات كافنديش العريقة، وتم تعيينه رئيساً لها وهو في الثامنة والعشرين من عمره، وقد ترأس المعمل لمدة (34) عاماً حتى خلفه تلميذه النيوزلندي ـ الإنجليزي إرنست رذرفورد.

في مختبرات كافنديش تتلمذ وتدرّب على يد العالم الكبير ماكسويل (Maxwell)، حيث اشترك معه في أبحاثه على الكهرومغناطيسية. في عام (1896) وعقب إعلان رونتجن عن اكتشافه للأشعة السينية، وجد في نفسه الرغبة لفهم وتفسير آلية عمل أشعة أنبوبة الكاثود التي تنطلق من الكاثود وتصطدم بالآنود. وبعد تجارب عديدة على أنبوبة الكاثود أعلن طومسون عام (1897) عن فرضيات ثلاث ملخصها أن هذه الأشعة المتوهجة داخل الأنبوبة ليست أشعة ولكنها سيل متصل من الجسيمات سالبة الشحنة تتأثر بالمجال الكهربي والمجال المغناطيسي المتولد حولها. كما تمكن من حساب كتلة تلك الجسيمات وسرعتها وشحنتها وتمكّن من حساب مقدار الطاقة الكلية لها، وأسمى الجسيم المكتشف بالإلكترون، لذا فقد اشتهر بلقب «أبو الإلكترون».

حصل طومسون على جائزة نوبل عام (1906)م لاكتشافه الإلكترون، ثم ترك العمل في معمل كافنديش قرب نهاية الحرب العالمية الأولى وترأس كلية ترينيتي في كامبريدج، وواصل أبحاثه في مجال التفريغ الكهربي للغاز حتى توفي عام (1940)م عن عمر يناهز الرابعة والثمانين.

المبادئ النظرية العامة للذرة وأنواع الإشعاع (1909):

كان عام (1909) عاماً مميزاً في تاريخ البحث العلمي النووي، فيه تم وصف المبادئ النظرية العامة للذرة وتعديد وتسمية أنواع الإشعاع النووي. قام بهذا كله العالم "إرنست رذرفورد" (Ernest Rutherford). فيما يلي نبذة عن سيرة هذا العالم وأهم ما عمله في تلك الفترة:

العالم إرنست رذرفورد:

ولد عام (1871) بنيوزيلاندا، وأثناء دراسته الجامعية أظهر تميّزاً كبيراً في علوم الرياضيات والطبيعة مما أهله للحصول على منحة دراسية بجامعة كامبريدج بإنجلترا (البلد الذي حصل على جنسيتها لاحقاً ومات ودفن فيها)، عمل مساعداً للعالم الكبير طومسون الذي أدت أبحاثه لاكتشاف الإلكترون. ركز في أبحاثه وتجاربه على مفاهيم الفيزياء النووية وبالذات في مجال الذرة حتى لقب بأبي الفيزياء النووية نظراً لاكتشافاته العلمية فيها، وكان جل عمله في جامعة كامبريدج على عنصر الراديوم.

بعد العمل في جامعة كامبريدج، انتقل إلى مونتريال بكندا للعمل في جامعة ماك جيل واستمر في العمل على عنصر الراديوم وعلى مكونات الإشعاع الصادر من الراديوم، وفيما يلي إيجاز عن مكتشفات هذا العالم الفذ:

- **وصف المبادئ النظرية العامة للذرة**، في عام (1909) قام رذرفورد بتجربة عملية على شرائح الذهب استنتج منها أن كتلة الذرات تتركز في نواة صغيرة موجبة الشحنة تتوسط الذرة بينما تدور الإلكترونات سالبة الشحنة حول هذه النواة في مدارات واسعة نسبية متباعدةً عن النواة وعن بعضها البعض مكونة أثناء ذلك ذرة متعادلة الشحنة كهربائياً.
- **اكتشف الخصائص المميزة للعناصر المشعة**، فوضع المعادلة التي يمكن من خلالها حساب اضمحلال العناصر المشعة وأيضاً ثابت الاضمحلال، كما اكتشف مفهوم "زمن عمر النصف" للعنصر المشع.
- **أثبت أن النشاط الإشعاعي يشتمل على تحول العنصر الكيميائي إلى عنصر آخر**، مثل تحول عنصري اليورانيوم والثوريوم إلى عناصر أخرى خلال عملية الاضمحلال الإشعاعي التلقائي. والجدير بالذكر، أن العالم فردريك سودي (Frederick Soddy) زامله في هذه التجارب بشكل كبير.

عدّد أنواع الإشعاع وشرحها كما يلي:

- **أشعة ألفا:** وهي جسيمات موجبة الشحنة قصيرة المدى تتكون من أنوية ذرة الهيليوم (أي 2 بروتون و 2 نيوترون) تنبعث من الجسم المشع أثناء تحلل ذراته.
- **أشعة بيتا:** وهي جسيمات سالبة الشحنة ومداها أكبر من أشعة ألفا. وتتألف من إلكترونات سريعة تقارب سرعتها سرعة الضوء وتنبعث من نواة الذرة نتيجة من تحلل نيوترونات النواة وهي ليست الإلكترونات الخارجية التي تدور حول النواة.
- **أشعة جاما:** وهي موجات كهرومغناطيسية تنبعث من الجسم المشع ذات تردد عالٍ ومدى كبير جدًا ولها قدرة على النفاذ في مختلف المواد. كانت أبحاثه على أشعة جاما استكمالاً للأبحاث التي نشرها الفيزيائي الفرنسي بول فيلارد.

حتى يومنا هذا، مازالت الموسوعة البريطانية تصنفه كثاني أفضل العلماء التجريبيين في التاريخ لم يسبقه في ذلك إلا العالم "مايكل فاراداي" (Michael Faraday).

في معامل جامعة كامبريدج (1919) حيث قام بقذف أنوية عنصر النتروجين بجسيمات ألفا فأنتج أنوية عنصر الأكسجين، وهنا كان رذرفورد قد نجح في فلق (انشطار) الذرة. وعليه ، فإن رذرفورد يعتبر واضع أساس نظرية النشاط الإشعاعي ، ومن أهم العلماء الذين غيروا مجرى الحياة العلمي والأكاديمي.

حصل "إرنست رذرفورد" على جائزة نوبل في الكيمياء عام (1908)، وعليه لُقب بـ "فارس" عام (1914)، كما عين رئيساً لمعمل كافنديش خلفاً للعالم جون جوزيف طومسون، وحصل على لقب "بارون" عام (1931) تقديرًا لإسهاماته العظيمة، وحصل كذلك على وسام فرنكلن سنة (1924). وفي عام (1997) تمت تسمية العنصر الكيميائي رذرفورديوم تكريماً له.

توفي العالم إرنست رذرفورد عام (1937) عن عمر يناهز (66) عاماً في كامبريدج. ودفن بجوار العالم إسحق نيوتن بمدينة ويستمنستر آبي بإنجلترا بناء على طلبه.

الكاشف الإشعاعي المعروف باسم جيجر مولر:

اخترع العالم الألماني هانز جيجر (Hans Geiger) هذا العداد وهو أحد أدوات اكتشاف الإشعاعات المؤينة، مثل أشعة جاما والأشعة السينية، وقام تلميذه مولر

بإدخال تعديلات قيمة على الكاشف ولذلك يسمى عداد جيجر ـ مولر. ساهم هانز جيجر (1882-1945) في الكثير من التجارب التي اكتشفت نواة الذرة، و كان قد عمل مع شادويك، وسيأتي ذكر أهم أعماله. وجيجر درس الفيزياء والرياضيات، ونال الدكتوراه من ألمانيا، وعمل مع رذرفورد في جامعة مانشيستر في عام (1907)، والعالم مارسدن (1909) في التجربة الشهيرة التي تم من خلالها اكتشاف نواة الذرة.

اكتشاف النيوترونات عام (1932):

كان اكتشاف النيوترونات حدثاً ضخماً في تاريخ العلم النووي، مهّد الكثير من التطبيقات المهمة ولعل أهمها على الإطلاق هو تصميم المفاعلات النووية. فمن هو العالم الذي اكتشف النيوترون و كيف فعل ذلك؟ العالم هو الفيزيائي اللامع جيمس شادويك (James Chadwick).

العالم جيمس شادويك:

ولد هذا العالم في أكتوبر عام (1891) بمدينة تشيشاير في إنجلترا وتخرج بجامعة مانشستر عام (1911). حصل على الماجستير من جامعة كامبريدج عام (1913)، ثم سافر إلى ألمانيا للعمل مع العالم هانز جيجر الذي ساهم في تصميم الكاشف الإشعاعي المعروف باسم جيجر مولر في جامعة برلين. عام (1919) عاد لإنجلترا ليواصل دراساته وأبحاثه مع العالم رذرفورد في مجال النشاط الإشعاعي، وقد نجحا معاً في تجارب تحويل العناصر إلى عناصر أخرى من خلال قذف أنويتها بجسيمات ألفا.

قام باكتشاف النيوترونات عام (1932)، وذلك عندما لاحظ انبعاث جسيمات من أنوية (عنصر البريليوم ـ 11) بعد قذفها بأشعة ألفا، كما لاحظ أيضاً أن هذه الجسيمات المنبعثة تتسبب في انبعاث بروتونات من أنوية عناصر أخرى. هذا الاكتشاف الذي مهّد الطريق أمام إنتاج نظائر مشعة صناعياً من خلال تشعيع أنوية العناصر المستقرة بالنيوترونات فتتحول إلى عناصر غير مستقرة.

كما مهد الطريق أمام تجارب الانشطار النووي التي يتم فيها قذف أنوية العناصر القابلة للانشطار بالنيوترونات فيحدث الانشطار النووي المتسلسل الذي بنيت عليه فكرة تصميم المفاعلات النووية.

حصل جيمس شادويك على جائزة نوبل عام (1935) لاكتشافه النيوترونات.وقد علم لاحقاً أن عالم ألماني وهو هانز فالكينهاجين (Hans Falkenhagen) قد اكتشف النيوترون في نفس الوقت، لكنه تردد في نشر نتائجه، عندما علم تشادويك باكتشاف فالكينهاجين، عرض عليه المشاركة بجائزة نوبل التي حصل عليها ولكن فالكينهاجين رفض ذلك. وفي نفس العام انتقل إلى جامعة ليفربول للعمل كأستاذ للفيزياء عمل خلالها على مشروع تصنيع قنبلة نووية. بعدها بخمس سنوات في عام (1940) سافر إلى الولايات المتحدة الأمريكية والتحق بمشروع مانهاتن لتطوير القنابل النووية التي استخدمت في أواخر الحرب العالمية الثانية عام (1945) في ضرب مدينتي هيروشيما وناجازاكي اليابانيتين.

قضى شادويك معظم عمره حاملاً لقب «جيمي نيوترون» بسبب اكتشافه النيوترون، وتم تكريمه في حياته تقديراً لأبحاثه بعدة جوائز ، فبالإضافة إلى جائزة نوبل، حاز على عضوية المجتمع الملكي في إنجلترا عام (1927)، وفاز بميدالية فاراداي عام (1950) و ميدالية فرنكلن عام (1951). بعد انتهاء الحرب عاد شادويك للعمل بجامعة كامبريدج، واستمر في عمله حتى توفي في الرابع والعشرين من يوليو عام (1974) عن عمر يبلغ ثلاثة وثمانين عاماً.

اختراع المعجل النووي الدائري عام (1931):

إن اختراع المعجل النووي الدائري (السيكلترون) يعتبر من أهم الاختراعات في عالم الإشعاع والطب النووي على الإطلاق، ولقد قام به عالم شاب فذ بهدف إنتاج نظائر مشعة تستخدم في الطب النووي و استخدامات أخرى كثيرة ومتعددة. هذا العالم الفيزيائي هو إرنست أورلاندو لورانس (Erenst Orlando Lawrence).

العالم إرنست أورلاندو لورانس:

ولد عام (1901) في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي عام (1925) حصل على الدكتوراه في الفيزياء من جامعة ييل الشهيرة، وبعدها بعامين انتظم بالعمل بكلية الفيزياء بجامعة كاليفورنيا، حيث نجح عام (1931) في اختراع المعجل النووي الدائري (السيكلترون) مع زميله ملتون ستانلي لفنجستون. الفكرة الأساسية للمعجل النووي الدائري تقوم على أن الجهاز يقوم بتعجيل الجسيمات

المشحونة لطاقات عالية جداً مما يمكنها من التغلب على طاقة التنافر الكهربية عند قذفها على أنوية ذرات عناصر أخرى، ويؤدي هذا التصادم بين الجسيم المقذوف والنواة إلى إنتاج نظائر مشعة جديدة. ومن أهم النظائر المشعة التي يتم إنتاجها باستخدام المعجل النووي (الكوبالت ـ 57) و(الجاليوم ـ67) و(الكربون ـ 11) و(النتروجين ـ 13) و(الأكسجين ـ 15) و(الفلورين ـ 18) التي تستخدم أيضاً لإجراء الفحوص الطبية بالطب النووي.

عمل إرنست لورانس ضمن فريق العمل بما عرف باسم مشروع مانهاتن وكان عمله بالتحديد على فصل نظائر اليورانيوم، وهو ما ساهم في جهود الولايات المتحدة لإنتاج السلاح النووي في الحرب العالمية الثانية.في عام (1939) نال لورانس جائزة نوبل في الفيزياء لاختراعه المعجل النووي وما أتبع ذلك من تطبيقات،كما سمي العنصر الكيميائي رقم (103) لورانسيوم تكريماً له. توفي لورانس عام (1958) عن عمر يناهز (57) عاماً.

وضع أسس علم الطب النووي الحديث عام (1940):

في عام (1940) تأسس علم الطب النووي الحديث على يد العالم جورج هيفيشي (Georg Hevesy) الذي واجه كثيراً من العثرات، وخيبات الأمل قبل أن ينجح أخيراً مؤسساً علماً طبياً يعتبر اليوم من أهم فروع الطب الحديث.

ولد العالم جورج هيفيشي عام (1885) في مدينة بودابست بالمجر. في عام (1908) حصل على درجة الدكتوراه من جامعة فريبورج بألمانيا، ثم انتقل بعدها إلى سويسرا ليبدأ مشواره البحثي. عمل لمدة عامين بمعهد الكيمياء الطبيعية بسويسرا ثم سافر إلى إنجلترا عام (1910) ليدرس على يد العالم إرنست رذرفورد بجامعة مانشستر وفي عام (1920) انتقل إلى معهد نيلز بوهر بمدينة كوبنهاجن حيث عمل مع العالم ديرك كوستر واكتشفا عنصر الهافنيوم عام (1923).

عمل هيفيشي بنشاط واجتهاد متميز على الرغم من النتائج المخيبة للآمال في كثير من أوائل أبحاثه. تركزت أبحاثه في البداية على محاولة فصل المواد المشعة باستخدام وسائل كيميائية حيث حاول فصل نظيري الرصاص المشع والمستقر عن بعضه البعض إلاّ أنه باء بالفشل الذريع. حاول بعدها استخدام نظير الرصاص المشع

كمقتفي أثر لعنصر الرصاص الأصلي أثناء تفاعله مع المحيط حوله ففوجيء بالنجاح الهائل في اقتفاء الأثر مؤسساً بذلك مبـدأً علميـاً مهمـاً قد يكون من أهم الاكتشافات الحديثة في عالم الطب، حيث فتح المجال لاستخدام المواد المشعة في إجراء الفحوص الطبية، حيث يتم ربط المادة المشعة بمادة كيميائية تمتص داخل العضو المطلوب فحصه من أعضاء الجسم البشري بجسم المريض، مما يؤدي إلى تحويل هذا العضو إلى عضو مشع يتم مسحه إشعاعياً بأجهزة معينة لاختباره وظيفياً وهي الفكرة الرئيسية للطب النووي. من أكثر العلماء صلة بموضوع البحث هو هيفيشي، حيث بدأ باستخدام مادة اليود المشع في فحوص الدرقيات في عام (1940)، لقياس نشاطها، كما استخدم لاحقاً في علاج اضطرابها.

واستمرت أبحاث هيفيشي فتنوعت من استخدام النظائر المشعة الطبيعية إلى استخدام النظائر المشعة المصنّعة في الفحوص الطبية حتـى أنـه عام (1943) نال جائزة نوبل في الكيمياء لوضعه لمبدأ استخدام النظائر المشعة في الطب. توفي جورج هيفيشي في الخامس من يوليو عام (1966) بمدينة فريبورج بألمانيا بعد أن فتح أمام الطب الحديث آفاقاً واسعة واحتمالات كبيرة.

اختراع الماسح مستقيم الخطوط :

عبارة عن جهاز طبي تم استخدامه في بدايات الطب النووي، اخترعه العالم بنديكت كازين (Benedict Cassen) في عام (1950)، قبل ذلك كانوا يقومون بتحريك عداد جيجر على أجزاء مختلفة من الجسم، مما نتج عنه تحديد غير دقيق لتوزيع النشاط الإشعاعي. حصل كازين على أول جائزة تميز علمي من جمعية الطب النووي في عام (1970)، نظير جهوده في مجال الطب النووي، ويعتبر الأب الروحي للتصوير الطبي. ولقد استخدم الجهاز في نهايات الخمسينيات إلى بداية السبعينيات من القرن الماضي.

اختراع الجاما كاميرا (الكاميرا الوميضية) عام (1957):

ولا يمكن أن نختم الحديث عن الطب النووي وتاريخه دون المرور على مكتشف الجاما كاميرا ومخترعها "هال أوسكار أنجر"، أمريكي الجنسية، المولود في عام

(1920)، وهو مهندس كهربائي وإليه يعود الفضل في اختراع الجاما كاميرا المعروفة أيضاً بالكاميرا الوميضية التي تعتبر الجيل الأول من الجاما كاميرا. تلقى العديد من الجوائز العلمية لاختراعاته القيمة في مجال الطب النووي. كان الجيل الأول من هذه التقنية ظهر إلى النور في عام (1957). وشارك في المؤتمر العالمي للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية في سويسرا عام (1955).

في عام (1954) تم عقد أول اجتماع لجمعية الطب النووي الأمريكية، وفي الاجتماع الثالث عام (1956) قرروا بأن الطب النووي يجب ألا يكون محصوراً بالولايات المتحدة الأمريكية، وأن يكون متاحاً للعالم بأسره. في عام (1960)، بدأ طباعة مجلة جمعية الطب النووي واستمرت في كونها المجلة الرائدة بهذا المجال إلى يومنا الحالي.

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
١٤٠٤ هـ
١٩٨٣م
ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

الفصل الثاني

مفهوم الطب النووي

عندما نتكلم عن الطب النووي بمفهومه المستخدم في الطب العلاجي، فإننا نتكلم بصورة أو بأخرى عن الإشعاع الذي يصدر من الذرة. ولفهم أوضح وأجلّ لهذه الفكرة، نبدأ بفهم الذرة ذاتها.

الذَرة وتركيبها:

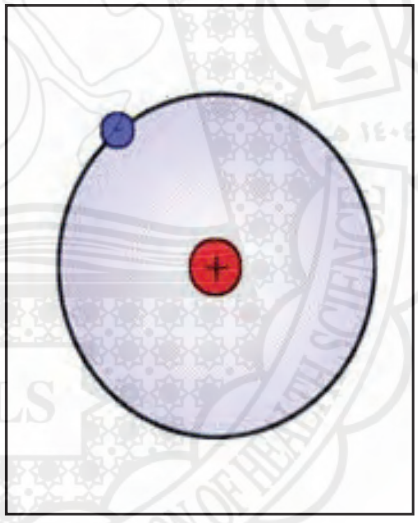
الذَرة هي أصغر بناء تتكون منه المواد ومعناه باللغة اليونانية القديمة الشيء غير القابل للتجزئة. تُكوِّن الذَرات إذا اجتمعت مع بعضها البعض ما يسمى بالجزيئات، وتجتمع الجزيئات لتُكوّن البلّورات، ثم تتكون البلورات مجتمعة لتكوّن العناصر وتجتمع العناصر، مكوّنة المواد.

تتكون الذَرة من نواة موجبة الشحنة ثقيلة الكتلة يحيط بها عدد من الإلكترونات (e) سالبة الشحنة التي تدور حول النواة في مدارات متعددة. والنواة تتكون من بروتونات (P) موجبة الشحنة ونيوترونات (n) متعادلة الشحنة، والبروتونات والنيوترونات تسمّى بالنيوكليونات (الجسيمات التي تكون داخل النواة فقط). في الذَرة الطبيعية، تكون كتلة البروتون تقريباً مساوية لكتلة النيوترون، بينما تقل كتلة الإلكترون عنهما بكثير، وهذا هو السبب لثقل كتلة النواة عن كتلة الغلاف الإلكتروني المحيط بها. أيضاً من الجدير بالملاحظة أن قطر النواة أصغر بكثير من قطر الغلاف الإلكتروني المحيط بالذرة (أي قطر الذَرة).

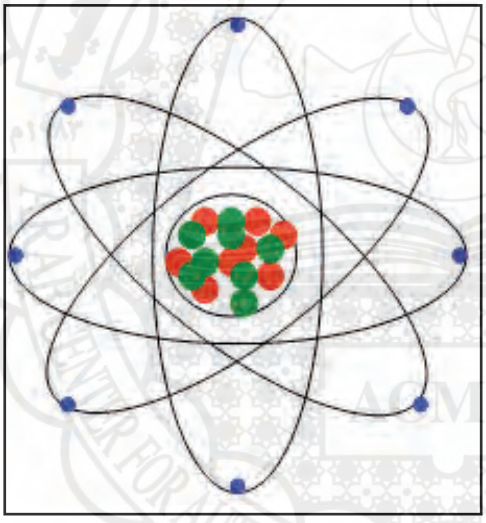
الذَرة بناء متعادل كهربياً، حيث إن عدد البروتونات موجبة الشحنة في نواة الذَرة، يتساوى تماماً مع عدد الإلكترونات سالبة الشحنة الموجودة بالغلاف المحيط بالنواة، وبما أن البروتونات والإلكترونات لهما شحنات كهربية متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة فإن الذَرة في حالتها الطبيعية تكون متعادلة كهربياً.

يعرف عدد البروتونات بالعدد الذري ويرمز له بالرمز (Z)، بينما يعرف عدد النيوكليونات (البروتونات + النيوترونات) بالعدد الكتلي ويرمز له بالرمز (A)، وبذلك يكون لكل ذرة عنصر(جرى العرف العلمي على إعطاء الرمز (X) لكل ذرة عنصر مجهول) عدد ذري (Z) وعدد كتلي (A).

إن اختلاف العدد الذري من ذرة إلى أخرى يخلق لنا عناصر مختلفة عن بعضها، فمثلاً ذرة عنصر الهيدروجين لها عدد ذري يساوي (1) أي بها بروتون واحد فقط في نواتها، وكذلك إلكترون واحد في غلافها الإلكتروني وعدد كتلي يساوي (1) حيث لا يوجد بنواتها نيوترونات ، بينما ذرة الأكسجين لها عدد ذري يساوي (8) وعدد كتلي يساوي (16) أي يوجد بنواتها عدد (8) بروتونات و (8) نيوترونات وكذلك عدد إلكتروناتها يساوي (8).



الشكل (1): نموذج لذرة عنصر الهيدروجين



الشكل (2): نموذج لذرة عنصر الأكسجين

طاقة الربط النووي:

هناك نوعان من القوى داخل نواة الذَرة. هناك قوى تنافر كهربية بين البروتونات وبعضها البعض، وهي قوى يمكنها تفتيت النواة وتشتيت مكوناتها، إلا أنها تواجه

قوى أكبر منها بكثير وهي القوى النووية التي تربط بين أي اثنين من مكونات النواة (نيترون ونيترون ـ بروتون ونيوترون ـ بروتون وبروتون). وتتميز قوة الربط النووي هذه بأنها أكبر بكثير من قوة التنافر الكهربي المتولدة بين البروتونات وهي تعمل في اتجاه عكسي لها وتؤدي إلى ربط مكونات النواة معاً، كما أنها لا تعمل إلا في مسافات صغيـرة جـداً حيث يلزم للنيوكليونات أن تكون قريبة من بعضها البعض حتى تتأثر بقوى الربط هذه.

بشـرح آخـر من الناحيـة الفيزيائية، إن طاقة وضع النيوكليونـات (البروتونات والنيوترونات) الحرة في وضع استقرار تساوي صفراً، ويلزم لتجاذب هذه النيوكليونات داخل النواة خسارة طاقة وهو ما يؤدي إلى نقص طاقة وضعها، أي تكون قيمتها بإشارة سالبة. يطلق على الفرق بين طاقة وضع النيوكليونات الحرة وطاقة وضع النيوكليونات المرتبطة اسم طاقة الربط النووي.

إن طاقة الربط النووي = طاقة وضع النيوكليونات الحرة (صفر) ـ طاقة وضع النيوكليونات المرتبطة (إشارتها سالبة). معطية بذلك قيمة موجبة دائماً لطاقة الربط النووي. ولأن كتلة النواة الفعلية (النيوكليونات المرتبطة) أقل من كتلة النواة النظرية (النيوكليونات الحرة) فإن مقدار النقص في كتلة نواة الذَرة يساوي مقدار الطاقة الناتجة الذي هو نفسه مقدار طاقة الربط النووي.

إن ترتيب النيوكليونات داخل النواة هو أكبر عامل مؤثر في حالة استقرار النواة، فحتى تصبح النواة في حالة استقرار يجب تواجد النيوكليونات داخل النواة عند مسافات قريبة من بعضها البعض لضمان أن تصبح قوى الربط النووي أكبر بكثير من قوى التنافر الكهربية. أما لو انتظمت النيوكلونات المتباعدة عن بعضها البعض أو زاد عدد النيوترونات كثيراً عن عدد البروتونات أو العكس ، فإن ذلك يؤدي إلى ضعف تأثير القوى النووية داخل النواة، وتصبح النواة في حالة عدم استقرار، وفي هذه الحالة تسمى النواة بالنواة غير المستقرة أو النواة التي في حالة استثارة.

تميل الأنوية غير المستقرة بطبيعتها لكي تصبح مستقرة. ولكي يحدث هذا التحول من عدم الاستقرار إلى الاستقرار فلابد أن يعاد تنظيم النواة من الداخل بحيث يتحلل أحد نيوكليوناتها ويتحول إلى النوع الآخر (يتحلل نيوترون بدخوله في تفاعل ليصبح بروتوناً أو يتحلل بروتون بدخوله في تفاعل ليصبح نيوتروناً)، أو تنقسم

النواة إلى جزئين أحدهما ينطلق بطاقة كبيرة والآخر يبقى في حالة أكثر استقراراً مما كانت عليه النواة من قبل ويكون نواة لعنصر آخر.

إن عملية تحلل مكونات النواة أو انقسامها بالتحلل الإشعاعي التلقائي ينتج عنها انطلاق جسيمات (قد يصاحبها موجات كهرومغناطيسية) ، هذه العملية بالنتيجة تطلق ما يعرف بالطاقة النووية، والجسيمات والموجات التي تنطلق تعرف بالإشعاع النووي (أو الإشعاع الذري) المؤين وسوف يأتي ذكرها بالتفصيل لاحقاً.

النظائر والنظائر المشعة:

النظائر، هي ذرات عنصر لها نفس العدد الذري (Z)، بينما تختلف في العدد الكتلي (A). ومثال ذلك عنصر (الهيدروجين ـ 1) ونظيريه (الديوتيريم ـ 2) و(التريتيوم ـ 3).

يحتوي الديوتيريم على عدد ذري مطابق للعدد الذري في الهيدروجين، بينما يختلف عنه في عدد الكتلة (A =2)، بمعنى أن نواة ذرة الديوتيريم تحتوي على بروتون ونيوترون، بينما عدد الكتلة (A) لذرة الهيدروجين = 1 حيث تحتوى نواة الهيدروجين على بروتون واحد فقط وبالتالي فإن الديوتيريم هو نظير للهيدروجين.

معنى ذلك أن نواة نظير العنصر لها نفس عدد البروتونات الموجودة بنواة العنصر بينما تختلف عنها فقط في عدد النيوترونات. ولحالة عدم الاستقرار في الطبيعة، فإن بعض النظائر تكون بحالة إشعاع (وتسمى بالنظائر المشعة) بمعنى أن أنوية هذه النظائر تكون غير مستقرة، مما يتسبب في حدوث انطلاق بعض الإشعاعات المؤينة من هذه الأنوية أثناء تحللها حتى تصبح أنوية مستقرة وبالتالي عناصر مستقرة.

الإشعاع:

الإشعاع، هو طاقة تنبعث من مصدر ما وتنتقل خلال الوسط المحيط بها سواء أكان مادياً أو فراغاً، فإما أن يحدث تفاعلاً بينهما (الطاقة المنبعثة والوسط المحيط) فيمتصها أو يمتص جزءاً منها، أو تخترقه بشكل سلبي أي بدون حدوث تفاعل. وعليه فإن التعريف الأصح لكلمة إشعاع، هو طاقة في حالة انتقال.

يكون الإشعاع على هيئة موجات أو جسيمات وتعتمد طاقته على المصدر المنطلقة منه، فإذا حدث التفاعل حصلت إحدى الظواهر الثلاث (أو أكثر) المرتبطة بالإشعاع وهي: انبعاث وانتقال وامتصاص. ومصادر الإشعاع إما طبيعية من صنع الله الخالق كالشمس والتربة، وإما صناعيّة من صنع البشر كأجهزة توليد الأشعة السينية أو أجهزة اللاسلكي، الإشعاع نوعان مؤين وغير مؤين.

الإشعاع غير المؤين:

هو نوع من الموجات الكهرومغناطيسية التي لا تملك طاقة كامنة لإحداث تغيير تركيبي في الذرات أو الجزيئات فلا تسبب انفصالاً كاملاً لإلكترون من الذَرة وعليه فلا ينتج عنه أيونات ذات شحنة، ويقتصر تأثيرها على عدم استقرار ناتج عن تحريك الإلكترون لمدار آخر مع اكتساب طاقة عليا. ينبعث هذا النوع من الإشعاع عادةً من مصادر طبيعية كضوء الشمس، كما يمكن أن يكون مصدره من صنع الإنسان كالاتصالات اللاسلكية وبعض التطبيقات الصناعية والطبية.

الأشعة غير المؤينة لها مستويات طاقة منخفضة وموجات واسعة، ومن أمثلتها موجات الراديو والميكروويف وإشعاعات التلفونات المحمولة وأسلاك الكهرباء، ويقتصر أثرها على التسبّب بتذبذب الإلكترونات التي قد تنتقل من مدار إلى آخر في الذرّة مع زيادة مستوى الطاقة الصادرة دون إحداث تغييرات تركيبية في الأنسجة الحية للإنسان أو الحيوان في المحيط. وعلى الرغم من انخفاض تلك الطاقة فإنها تكفي للتأثير على ذرات المواد

الشكل (3): مصادر الإشعاع غير المؤين

بشكل يكفي ـ مثلاً ـ لتسخين الماء في المأكولات في الطعام المراد تسخينه في الميكروويف دون تغيير طبيعة الطعام المراد تسخينه. و بشكل عام، فالإشعاعات غير المؤينة تسبب سخونة النسيج المتعرض له عند التعرض للكثير منها، ولذلك لا ينصح بالتعرض المستمر أو لفترات طويلة لها.

الإشعاع المؤين:

أما الأشعة المؤيّنة، فعندما تمر خلال وسط محيط ينتقل جزء من طاقة الإشعاع إلى إلكترونات ذرات الوسط المحيط ، فتمتصه، مكتسبة بذلك طاقة حركة تزيد عن طاقة الربط الذري فتنطلق الإلكترونات متحررة من ذراتها مسببة انقسام الذَرة المتعادلة كهربياً إلى أيونين أحدهما سالب الشحنة (وهو الإلكترونات المحررة) والثاني ذو شحنة موجبة (وهو الجزء المتبقي من الذَرة بعد خروج الإلكترونات منها).

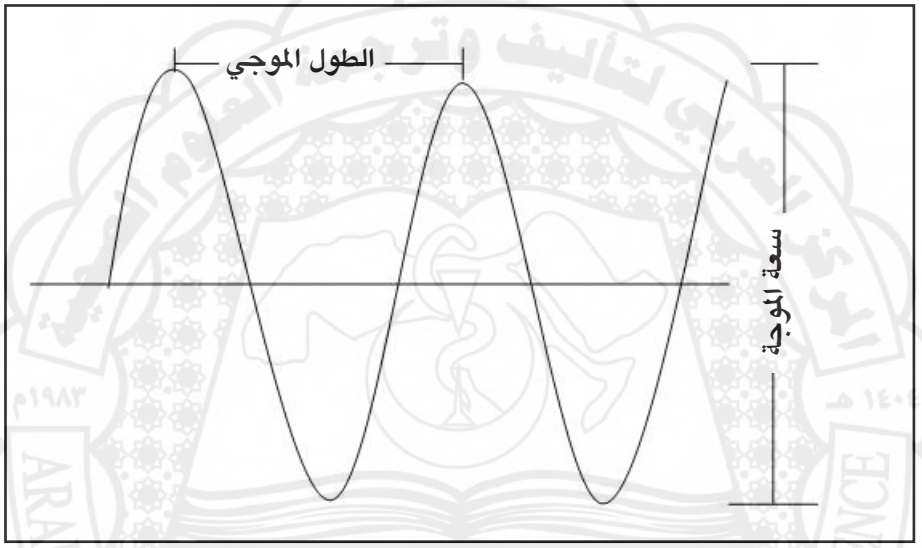
الشكل (4): اللوحة الإرشادية الدالة على وجود إشعاع نووي

إن خلق هذه الأيونات هو ما يعرف بعملية التأين، وتحدث فقط في حالة الإشعاع المؤين الذي يحدث تغييرات في تركيب الأنسجة التي تتعرض له، أما الإشعاع غير المؤين فتكون الطاقة الممتصة داخل الوسط المحيط أقل من طاقة ربط الإلكترونات بذراتها فلا يحدث تأين. وسوف نأتي لاحقاً بشرح تفصيلي لأنواع الإشعاع النووي ومصادره.

الموجات الكهرومغناطيسية:

تعرف الموجات الكهرومغناطيسية بأنها موجات تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء وتتكون من مجالين متعامدين على بعضهما هما المجالان الكهربي والمغناطيسي الموجودان في الوسط. وتصنف هذه الموجات وفقاً لترددها وطولها الموجي، حيث تبدأ بالموجات ذات التردد الصغير والطول الموجي الكبير (مثل موجات الراديو والميكروويف)، وتنتهي بالموجات ذات التردد الكبير والطول الموجي القصير (مثل الأشعة السينية و أشعة جاما).

ويعرّف تردد الموجة بمعدل تكرارها خلال وحدة الزمن (يقاس بالوحدة هيرتز). وبشكل عام فإن قوانين الموجات الكهرومغناطيسية تتلخص بما يلي: يتناسب التردد الموجـي عكسـياً مع طول الموجة وطردياً مع طاقتها. وتتميز الموجات (المسافة بين القمة والقاع) والطول الموجي (المسافة بين قمتين أو قاعين).



الشكل (5): الصفات الفيزيائية للموجات الكهرومغناطيسية

الإشعاع النووي:

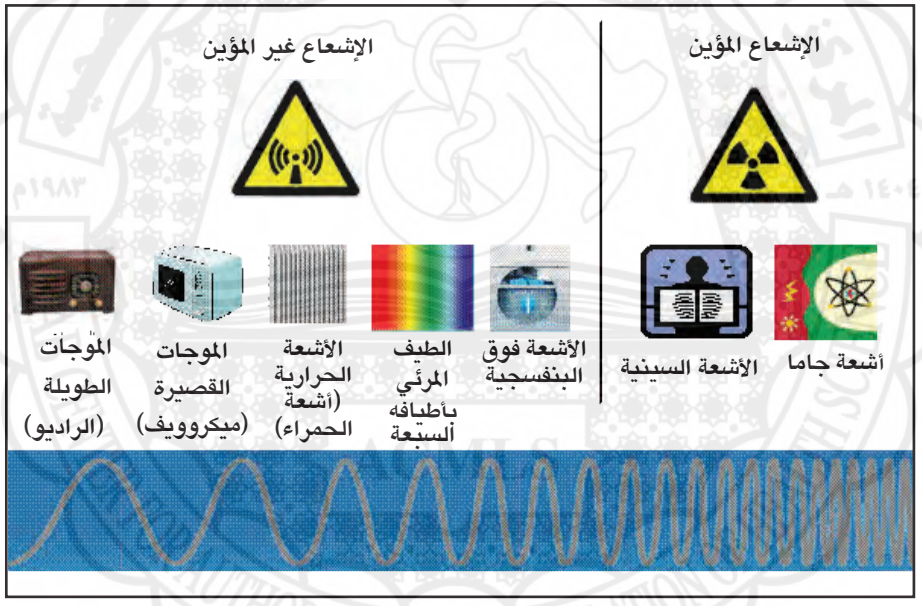
يعتبر الإشعاع النووي هو لب مفهوم الطب النووي، وهو كما سبق ذكره إما أن يكون جسيمات أو موجات. تنقسم الجسيمات إلى قسمين: إما جسيمات مشحونة أو جسيمات غير مشحونة، وتتشابه جميع أنواع الإشعاع النووي في أنها تنطلق من داخل النواة بطاقة نووية متباينة.

أنواع الإشعاع النووي:

1. **أشعة ألفا** (α):

هي عبارة عن جسيم ذي شحنة كهربية موجبة، ويتكون من (2) بروتون و (2) نيوترون وهو ما يماثل تكوين نواة ذرة الهيليوم، ولذا فإن أي جسيم من جسيمات

أشعة ألفا، يعتبر نواة لذرة الهيليوم (He). وتنطلق أشعة ألفا بطاقة نووية أثناء عملية انقسام أنوية العناصر غير المستقرة بجسيم ذي كتلة عالية وشحنة موجبة مما يضعف قدرته على اختراق المواد حيث يمكن إيقافه بواسطة ورقة، ولذلك تعتبر الوقاية من أشعة ألفا سهلة جداً في حالة التعرض الخارجي لها، وعلى النقيض من ذلك فإذا كان التعرض لأشعة ألفا تعرضاً داخلياً عن طريق الاستنشاق أو البلع أو الجروح فسوف يحدث ضرراً كبيراً نتيجة تعرض خلايا الجسم لقدر عالٍ من التأيين. ومن أهم مصادر أشعة ألفا في الطبيعة هو عنصر اليورانيوم 238 (U-238) الذي يطلق أنوية عنصر الهيليوم ـ 4 أي جسيمات ألفا أثناء تحللها عند دخولها التفاعلات المختلفة.



الشكل (6): أنواع الإشعاع المؤين وغير المؤين

2. أشعة بيتا السالبة (β^-):

هي عبارة عن جسيمات إلكترونات، تخرج من النواة بشحنة كهربية سالبة وطاقة نووية تنتج أثناء عملية تحلل أحد نيوترونات نواة العنصر غير المستقر وتحوله إلى بروتون. أشعة بيتا ذات كتلة صغيرة مما يزيد من قدرتها على اختراق المواد حيث تستخدم رقائق من الألومنيوم أو البلاستيك لإيقافها.

وبسبب هذه القدرة على الاختراق ، فإنه يستلزم الحماية منها داخلياً وخارجياً (تستطيع اختراق جسم الإنسان أثناء التعرض الخارجي لها، كما أن التعرض الداخلي يحدث ضرراً وإن كان بكمية أقل من أشعة ألفا) يعتبر (الكربون من أهم مصادر أشعة بيتا.

3. البوزيترونات أو أشعة بيتا الموجبة (β^+):

البوزيترون، هو جسيم قريب من الإلكترون حيث إن له نفس الخصائص الفيزيائية مثل الكتلة والطاقة إلا أنه ذو شحنة كهربية موجبة، تخرج البوزيترونات من النواة خلال عملية تحلل بروتون في نواة عنصر غير مستقر وتحوله إلى نيوترون وتكون منطلقة ومصحوبة بطاقة نووية. يصطدم البوزيترون مع أحد الإلكترونات التي تدور حول النواة فيتلاشى كلاهما (بسبب الضدية بين البوزيترون والإلكترون) وينتج عدد (2) جاما فوتون في كل مرة يحدث هذا الاصطدام. هذه العملية تسمى بعملية التلاشي وفيها تتحول كتل الجسيمات المصطدمة إلى طاقة صادرة من التفاعل. يعتبر الكربون ـ 11 أحد مصادر البوزيترونات.

4. البروتونات (p):

البروتون، هو أحد مكونات النواة ، فأنوية غالبية العناصر تتكون من بروتونات ونيوترونات، وهو جسيم ذو شحنة كهربية موجبة، ويمثل نواة ذرة الهيدروجين التي تتكون من بروتون واحد فقط.

يتم إنتاج البروتونات صناعياً بتأيين ذرات الهيدروجين داخل أجهزة معدّة لهذا الغرض خصّيصاً، وتسمى بالمعجلات النووية (السيكلوترونات) ثم تقذف بها أنوية بعض العناصر لكي يتم إنتاج أنوية عناصر جديدة أو نظائر مشعة.

5. النيوترونات (n):

النيوترون، هو الجسيم الآخر في النواة إلى جانب البروتون. كل أنوية العناصر في الطبيعة بها بروتونات ما عدا نواة عنصر الهيدروجين. النيوترون جسيم متعادل الشحنة الكهربية أي غير مشحون كهربياً وله نفس كتلة البروتون تقريباً وينطلق بطاقة نووية أثناء التفاعلات.

ينتج النيوترون بطريقتين: *طبيعياً* من النواة غير المستقرة لأي عنصر خلال انشطارها، أو *صناعياً* بواسطة بعض التفاعلات النووية. تستخدم النيوترونات داخل المفاعلات النووية حيث تولّد الطاقة الكهربية وتنتج بعض النظائر المشعة. وتكمن خطورة النيوترونات في كونها جسيمات متعادلة كهربياً. حيث تستطيع اختراق أنوية الذرات بسهولة شديدة وتحويلها إلى أنوية غير مستقرة لعدم وجود قوى تنافر كهربية بينها وبين الأنوية ذات الشحنة الموجبة. وهذا بدوره يؤدي إلى تحويل الخلايا الحية للجسم البشري إلى مصادر مشعة عند تعرضها لوابل من الأشعة المصاحبة للنيوترونات.

تستخدم النيوترونات في المفاعلات النووية للتسبب ببدء انشطار متسلسل لأنوية اليورانيوم التي تستخدم كوقود نووي بالمفاعلات التي تستخدم لتوليد الطاقة الكهربية وتحلية مياه البحر وإنتاج النظائر المشعة ذات الاستخدامات السلمية المتعددة في مختلف نواحي الحياة كالطب والزراعة والصناعة والأبحاث العلمية. ولخطورتها، فإنه يلزم استخدام دروع خاصة للوقاية من هذه الأشعة عند التعامل معها واستخدامها.

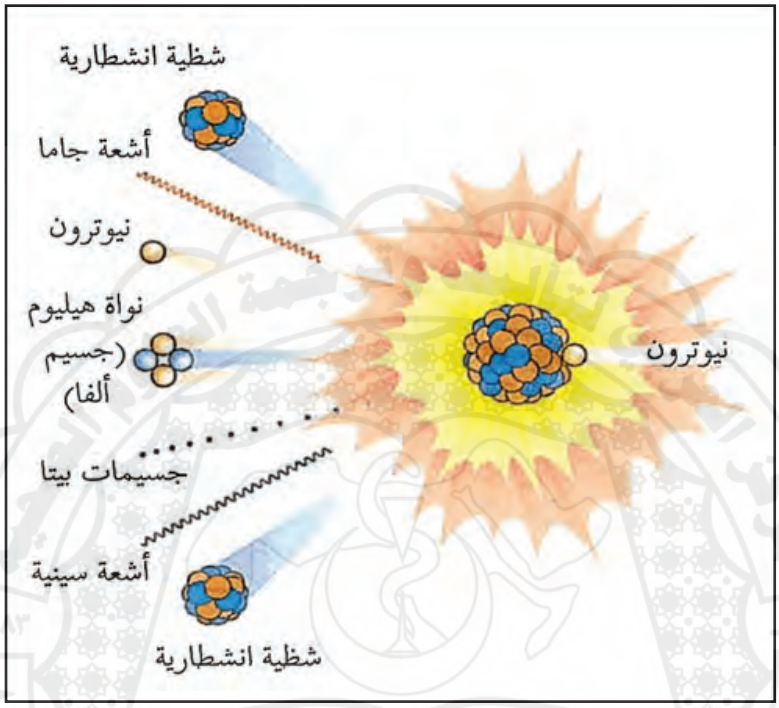
6. أشعة جاما (γ):

تعتبر أشعة جاما من الموجات الكهرومغناطيسية وهي ذات طول موجي قصير وتردد عالٍ وطاقة نووية عالية وقدرة كبيرة على اختراق المواد والجسم البشري. تنبعث أشعة جاما من بعض الأنوية غير المستقرة عقب تلاشيها واضمحلالها إما بالانقسام أو بتحلل أحد مكوناتها. كما يتبع انطلاق أشعة ألفا أو بيتا في بعض عمليات التحلل الإشعاعي انبعاثاً لأشعة جاما حتى تصل الأنوية إلى حالة الاستقرار.

ولقدرتها العالية على الاختراق، فإنه يسلتزم استخدام دروع مصنعة من عناصر ذات عدد كتلي عالٍ مثل الرصاص للوقاية من هذه الأشعة يعتبر (الكوبلت ـ 60) أحد مصادر أشعة جاما.

7. الأشعة السينية:

تعتبر الأشعة السينية من الموجات الكهرومغناطيسية، وتتشابه مع أشعة جاما في الطبيعة والخواص وتختلف فقط في منشأها وطاقتها. فالأشعة السينية تولد صناعياً بواسطة أنبوب لأشعة الكاثود مصمم خصيصاً لهذا الغرض، وتقل طاقتها وتردّدها قليلاً عن أشعة جاما. تتمتع الأشعة السينية بقدرة كبيرة على

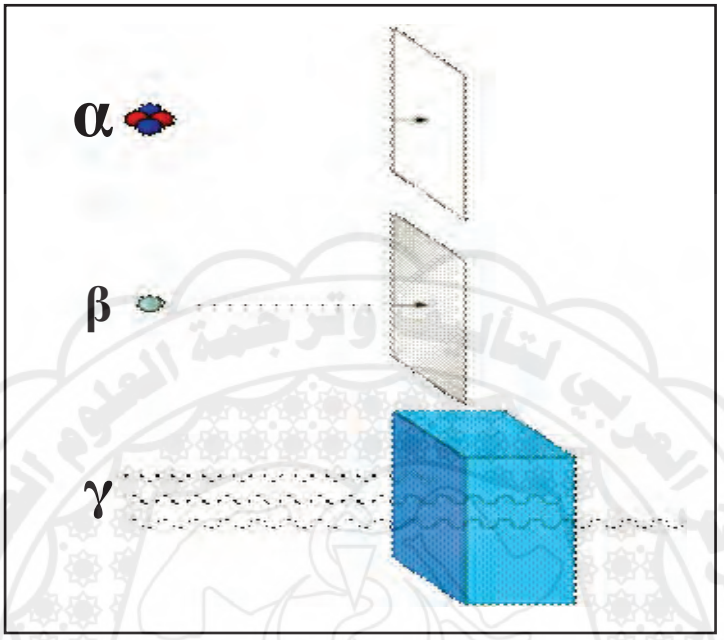


الشكل (7): الأشعة الصادرة من المادة المشعة

الاختـراق وبسـبب قدرتها العالية هذه فإنها تستخدم في العديد من الأغـراض الطبية كالتصوير التشـريحي وعمليات التصوير الإشعاعي فـي قطاعـات الصناعة وغيرها ومثل أشعة جاما، ولقدرتها العاليـة علـى الاختراق فإنه يسلتزم استخدام دروع مصنعة من عناصر ذات عدد كتلي عالٍ مثل الرصاص للوقاية من هذه الأشعة السينية.

8. الأشعة الكونية:

تصدر هذه الأشعة من الشمس و المجرات المحيطة بكوكب الأرض. وهي عبارة عن جسيمات نووية كالبروتونات والنيوترونات وجسيمات ألفا وبيتا وجسيمات أخرى بالإضافة إلى موجات كهرومغناطيسية مؤينة وغير مؤينة. ويحيط كوكب الأرض غلاف من الأوزون يعمل كدرع طبيعي للوقاية من هذه الأشعة حامياً بذلك كل المخلوقات الحية من خطرها.



الشكل (8): أنواع الأشعة المؤينة وقدراتها المختلفة على الاختراق

مصادر الإشعاع المؤين:

هناك مصدران رئيسيان للإشعاع المؤين وهما الإشعاع الطبيعي الموجود من خلق الله، والإشعاع المصنّع الذي يتدخل الإنسان في إنتاجه واستخدامه.

أولاً: مصادر الإشعاع الطبيعي:

يشكل الإشعاع الطبيعي النسبة الكبرى من الإشعاع الذي يتعرض له كل الخلق الحي في العالم. يوجد هذا الإشعاع الطبيعي منذ بدء الخليقة ومن خلاله تمكن العلماء من وضع تصور تقريبي لعملية بدء الخلق وتقدير عمر الكرة الأرضية ووضع تصوّر لمكونات الكرة الأرضية وبنائها. *وتنقسم مصادر الإشعاع الطبيعي إلى ثلاثة مصادر*:

1. **الأشعة الكونية:**

تنبعث الأشعة الكونية من التفاعلات النووية التي تحدث داخل الشمس والنجوم في مجرتنا والمجرات المحيطة بنا، تسمى هذه الأشعة بالكونية الأوليـة وتتكـون من

الشكل (9): الأشعة الكونية من الشمس

بروتونات بنسبة (85%) وجسيمات ألفا بنسبة (14%) وأنوية ذرات أخرى بنسبة (1%). هذه الأشعة تتميز بأنها ذات طاقة اختراق عالية، ومع ذلك حين اصطدامها بالغلاف الجوي للكرة الأرضية فإنه يحدث لها امتصاص بنسبة كبيرة حتى إنه لا ينفذ منها إلا نسبة ضئيلة جداً (حوالي فقط 0.002 %) من الأشعة الساقطة. ونتيجة لهذا التصادم تتكون أشعة أخرى تسمى بالأشعة الكونية الثانوية تتألف من عدة نظائر مشعة وهي (الهيدروجين ـ3) و(البريليوم ـ7) و(الكربون ـ 14) و(الصوديوم ـ 22).

تختلف كمية التعرض الإشعاعي للكائنات الحية باختلاف مكانها على سطح الأرض حيث تزيد نسبتها عند القطبين نتيجة لزيادة المجال المغناطيسي في هذين القطبين مما يعمل على جذب الجسيمات بنسبة كبيرة تزيد عن باقي الأماكن ، كما يزيد أيضاً مقدار التعرض كلما ارتفعنا عن سطح البحر حيث يقل سمك الغلاف الجوي الذي يعمل على امتصاص هذه الأشعة.

2. **الإشعاعات الصادرة من القشرة الأرضية:**

القشرة الأرضية مليئة بالنظائر المشعة وبعدد كبير جداً. أهم هذه النظائر هي: (البوتاسيوم ـ 40) و(الإنديوم ـ 115) و(الروبيديوم ـ 87) إضافة إلى السلاسل الإشعاعية وهي (اليورانيوم 238) و(اليورانيوم ـ 235) و(الثوريوم ـ 232). والمقصود هنا بالسلاسل الإشعاعية أن هذه النظائر تولّد وباستمرار عناصر أخرى تولّد بدورها أخرى وهكذا. تتميز معظم هذه النظائر بأن فترة نصف العمر (الوقت اللازم للكمية لتخفض إلى نصف قيمتها) لها كبيرة جداً؛ (البوتاسيوم ـ 40) تبلغ فترة نصف العمر له (1.26) مليار عام بينما تبلغ فترة نصف العمر لـ (إنديوم ـ 115) ستمائة

ألف مليار عام. ولوجود هذه النظائر المشعة فإننا نجد الإشعاعات المؤينة مثل أشعة جاما وجسيمات ألفا وبيتا بانبعاث مستمر ودائم حولنا في الأرض للإنسان ولجميع الكائنات الحية التي تعيش معنا على سطح الأرض.

يدخل غاز الرادون جسم الإنسان ـ تعرضٍ داخلي ـ من خلال الهواء الذي يتنفسه والماء الذي يشربه، كما يتعرض له خارجياً من خلال تعرضه لمواد البناء التي يدخل في مكوناتها مواد خام تحتوي على نسب معينة من عناصر (اليورانيوم ـ 238) و(اليورانيوم ـ 235) و(الثوريوم ـ 232). ويساهم غاز (الرادون ـ 222) بجزء كبير في الجرعة السنوية الفعالة من التعرض للإشعاع الطبيعي للفرد، حيث إنه وحده تقريباً يساهم ب (50%) من إجمالي هذه الجرعة.

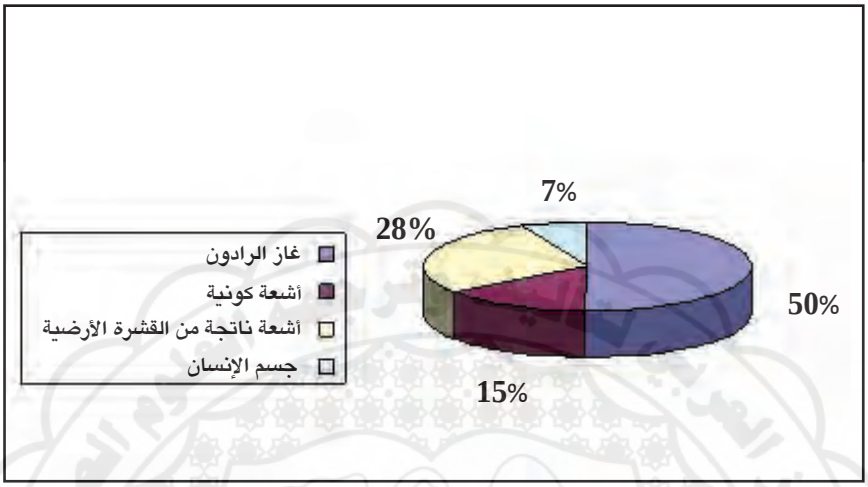
تتزايد نسبة تركيز الرادون كلما كان موقع انتشاره مغلقاً كالمنازل والأماكن محكمة الغلق التي تعتمد كليةً على التهوية المركزية، وكذلك الآبار الجوفية، بينما تقل النسبة في الأماكن المفتوحة كالشواطئ والحدائق والنوادي الرياضية والأنهار والبحار. وقد أثبتت الأبحاث أن غاز الرادون ـ في حالة تواجده بتركيز عالٍ ـ يعتبر من مسببات سرطان الرئة ويأتي في المرتبة الثانية بعد التدخين مباشرة مما حدا بوكالة حماية البيئة الأمريكية لتحديد مقدار 148 كيلوبيكريل / بالمتر المكعب أو4 بيكو كوري لكل لتر كحد أقصى للتعرض الآمن لغاز (الرادون 222). (سنشرح لاحقاً بعض المصطلحات المتعلقة بوحدات قياس الإشعاع)

3. **الأشعة الصادرة من جسم الإنسان:**

يتعرض الإنسان لجرعات إشعاعية داخلية من خلال التنفس وتناول الطعام والشراب مما يؤدي إلى وجود بعض العناصر المشعة بنسب معينة داخل جسمه. و يوجد داخل الجسم البشري ستة عناصر مشعة تتواجد بشكل طبيعي ودائم داخل جسم الإنسان وهي (البوتاسيوم ـ 40) و(الروبيديوم ـ 87) و(الكربون ـ 4) و(الهيدروجين ـ 3) و(الراديوم ـ 226) و(الثوريوم ـ 232)، أكثرها تواجداً هي (البوتاسيوم ـ 40) و(الروبيديوم ـ 87).

ثانياً: مصادر الإشعاع المؤين المصنّع:

إن معظم النظائر المشعة المستخدمة في وقتنا الحاضر تُنتج داخل مفاعلات



الشكل (10): أنواع التعرض الإشعاعي الطبيعي

نووية، ثم تستخدم في المجالات المختلفة التي صُنعت لأجلها مثل المجال الطبي والصناعة والأبحاث العلمية، بالإضافة إلى صنع القنابل النووية والأسلحة العسكرية.

المفاعلات النووية:

تستخدم المفاعلات النووية بشكل كبير في وقتنا الحالي لإنتاج الطاقة الكهربائية، وهي بالفعل أحد مصادر التعرض الإشعاعي وذلك للعاملين بداخلها وللسكان القريبين منها بل ولأجزاء كبيرة للعالم كله في حال وقوع حوادث إشعاعية بها، كما حدث في مفاعل تشرنوبيل عندما انصهر قلب المفاعل النووي نتيجة لخطأ فني في التشغيل محدثاً تلوث بيئي كبير عندما خرجت المواد المشعة (السيزيوم ـ 137 واليود ـ 131 ومواد أخرى) الموجودة داخل قلب المفاعل إلى خارجه.

إن التعرض الإشعاعي في هذا المجال يؤثر على جميع العاملين به، بدءاً من عمال مناجم اليورانيوم والعاملين بمصانع إنتاج الوقود النووي والقائمين بتشغيل المفاعلات النووية والمتخصصين في مجال التخلص من النفايات النووية وتخزينها، خصوصاً أن كثيراً من المفاعلات النووية تعمل في إنتاج عنصر البلوتونيوم (يورانيوم 239) الذي يستخدم في صنع القنابل النووية.

وحتى عام (2004) كان عدد المفاعلات النووية بالعالم كله قد بلغ (441) مفاعل نووي ،ومتوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد نتيجة لوجود المفاعلات النووية هو في حدود (0.2) ميكرو سيفرت وهو ما يعادل (0.0008) من متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة الناتجة عن التعرض للإشعاع الطبيعي.

الشكل (11): مفاعل نووي

استخدامات الإشعاع المؤين:

الاستخدامات الطبية:

يستخدم الإشعاع المؤين في إجراء أنواع عديدة من الفحوص الطبية للتشخيص كما يستخدم في حالات أخرى للمعالجة وتسمى بالعلاج الإشعاعي. ومن أهم المواد التي تستخدم في إجراء هذه الفحوص التشخيصية والعلاج الإشعاعي مواد مشعة مثل: (التكنيشيوم ـ 99)، (السيزيوم ـ 137)، (اليود ـ 125) و(اليود ـ 131) إضافة لمواد أخرى تستخدم في فحوص أقل شيوعاً.

الاستخدامات العسكرية:

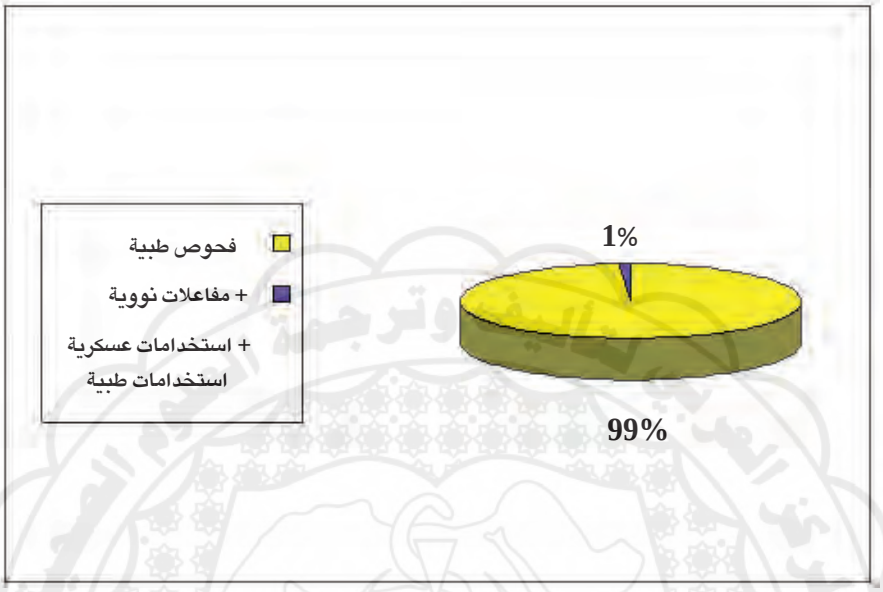
بدأت فكرة إنتاج سلاح نووي في الثلاثينيات من القرن الماضي بعد اكتشاف ظاهرة الانشطار النووي، ثم تحقق الحلم في الأربعينيات حينما نجحت الولايات المتحدة الأمريكية في إجراء تجارب تفجير نووية ناجحة في صحراء نيفادا واستخدمتها بالفعل في عام (1945) ضد اليابان في الحرب العالمية الثانية حيث قامت باسقاط قنبلة ذرية على مدينتي ناجازاكي وهيروشيما منهية بذلك الحرب لصالحها.

ثم دخلت دول كثيرة هذا المجال (تسمى حالياً بالدول النووية) فتسابقت لعمل التجارب النووية فوق و تحت سطح الأرض. غير أن هذه التجارب مكلفة مادياً وإنسانياً وصحياً حيث ينتج عن هذه التفجيرات النووية نظائر مشعة (أهمها السيزيوم ـ 137 واليود ـ 131 والسترنشيوم ـ 90 والكربون ـ 14) وتمتزج مع الأتربة الناتجة عن تدمير القشرة الأرضية لموقع التفجير مكونة الغبار الذري الذي يصعد إلى الفضاء الخارجي منطلقاً بسرعة كبيرة بفعل الحرارة الرهيبة الناجمة عن الانفجار النووي التي تقدر بحوالي مليون درجة مئوية ليتجمع الغبار الذري في طبقات الجو العليا وتحمله الرياح ليسقط على مكان آخر فوق سطح الكرة الأرضية وهو ما نسميه بالسقط النووي.

مصادر واستخدامات أخرى:

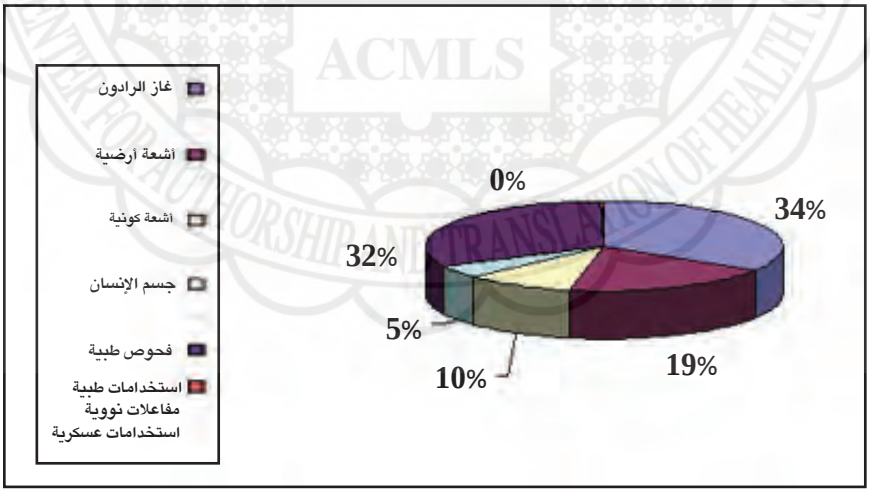
أدى التقدم الكبير في مجال إنتاج النظائر المشعة ومعرفة كمية ونوع الطاقة الصادرة من المواد إلى ظهور بعض المنتجات الاستهلاكية المشعة التي نتداولها في حياتنا اليومية كساعات اليد والحائط وأجهزة التلفاز الملون التي ينتج عنها القليل من الأشعة السينية من أنبوبة أشعة الكاثود داخل شاشة التلفاز. بالإضافة إلى كواشف الحريق التي تستخدم على نطاق واسع تقريباً في كل مكان وتحتوي على (عنصر الأمريسيوم ـ 241) حيث تعتمد في نظرية عملها على حدوث تأين ينتج عنه تيار كهربي وذلك في حالة حدوث حريق.كما تستخدم أيضاً أجهزة أشعة سينية في المطارات والموانيء والمنافذ الحدودية وهي آمنة على العاملين في هذه المؤسسات حيث إنها ذات تسرب إشعاعي ضئيل للغاية.

ويقدر متوسط إجمالي الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الفرد في حدود 10ميكرو سيفرت نتيجة للتعرض للأشعة السينية الناتجة من شاشة التلفاز بينما تقل بنسبة كبيرة جداً في باقي المنتجات الاستهلاكية لدرجة يمكن إهمالها تماماً



الشكل (12): التعرض الإشعاعي الصناعي

يتضح مما سبق أن التعرض للإشعاع الطبيعي يساهم بالجزء الأكبر في مقدار متوسط الجرعة السنوية الفعالة التي يتعرض لها الإنسان وهو ما يظهر بوضوح في الشكل التالي:



الشكل (13): التعرض الإشعاعي الكلي

وحدات قياس الإشعاع:

تنقسم وحدات قياس الإشعاع إلى ثلاثة أنواع. الأول يختص بقياس القوة الإشعاعية للعنصر المشع، مثل: وحدات قياس النشاط الإشعاعي ووحدة زمن عمر النصف للعنصر المشع. أما الثاني فهو عبارة عن قياسات فيزيائية وحيوية تتعامل مع كمية الإشعاع الصادر من العنصر المشع ومقدار تعرض الكائنات الحية (ومنها الإنسان) لهذا الإشعاع ومدى تأثيره عليها، ويهدف هذا النوع إلى تحويل القياسات الفيزيائية إلى مخاطر صحية كمية يمكن تحديدها وتقديرها عندما تتعرض الحياة البشرية أو الكائنات الحية للإشعاع. وهذه الوحدات هي وحدة قياس التعرض الإشعاعي ووحدة قياس امتصاص الإشعاع ووحدة الجرعة المكافئة، وأخيراً وحدة الجرعة الفعالة، ثم أخيراً النوع الثالث وهو عبارة عن وحدات لتحديد مستوى الوقاية الإشعاعية في كل بلد على حده مثل وحدة متوسط الجرعة السنوية الفعالة ووحدة الجرعة المجمعة الفعالة، وتعكس هذه الوحدات مقدار التقدم بالدول في مجال تطبيق شروط السلامة الإشعاعية، وعن حجم استخدام الإشعاع الذري في كل دولة، كما تختلف حسب الإمكانيات المتاحة ودقة نظام مراقبة تطبيق قواعد السلامة الإشعاعية.

وحدة الكوري (Ci):

تعتبر الكوري الوحدة التقليدية لقياس كمية الإشعاع الصادر من العنصر المشع وهو ما يعرف بالقوة الإشعاعية للمصدر أو النشاط الإشعاعي.

ووحدة الكوري تعرف رياضياً كما يلي:

1 كوري = 3.7×10^{10} تحلل نووي / ثانية. ويشتق منها الميللي والميكرو والنانو والبيكو كوري.

ولقد سميت هذه الوحدة بالكوري نسبة إلى العالمة كوري التي تعرفت على ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي من خلال اكتشافها لعنصر الراديوم المشع عام 1896.

وحدة البيكريل (Bq):

البيكريل هي الوحدة الدولية لقياس النشاط الإشعاعي وتعرف كالآتي:

1 بيكريل = تحلل واحد / ثانية.

أي أن 1 كوري =3.7 x 10 ^{10} بيكريل.

ومضاعفات البيكريل كيلو وميجا وجيجا وتيرا بيكريل.

ولقد سميت هذه الوحدة على اسم العالم هنري بيكريل الذي اكتشف ظاهرة الإشعاع الطبيعي من خلال اكتشافه للأشعة الصادرة من ملح اليورانيوم.

وحدة زمن عمر النصف:

زمن عمر النصف للعنصر المشع هو الزمن الذي يقل خلاله النشاط الإشعاعي للعنصر المشع إلى النصف. ومثالاً على ذلك، لو فرضنا أن النشاط الإشعاعي كمية من عنصر التكنيشيوم 99m له زمن عمر نصف يساوي 6 ساعات يساوي 10000 بيكريل، فمعنى ذلك أنه بعد 6 ساعات سوف يصبح 5000 بيكريل وبعد 12 ساعة سيكون 2500 بيكريل وهكذا.

وحدة التعرض الإشعاعي:

الرونتجن *(R):*

هي الوحدة التقليدية المعروفة لقياس مقدار التعرض الإشعاعي وهي تصلح فقط لنوعين اثنين من الأشعة وهما الأشعة السينية وأشعة جاما. كما أنها أيضاً تقيس مقدار التعرض الإشعاعي في وسط ممتص وحيد وهو الهواء ويقدر الرونتغن الواحد بأنه كمية الأشعة المؤينة التي تتسبب في تكوين أيونات موجبة وسالبة.

ولأن وحدة قياس التعرض الإشعاعي لا تمكننا من دراسة مقدار الجرعة الممتصة إشعاعياً داخل الجسم البشري، أي داخل المادة، ولا تعبّر إلا عن وسط ممتص وحيد هو الهواء فقط، لذا تم التفكير في تصميم وحدات قياس إشعاعي أخرى عن طريق محاولة تقدير كمية الضرر أو الأذى الناتج داخل أجسام الكائنات الحية (بما فيها الإنسان طبعاً) نتيجة لامتصاص الأشعة النووية بمختلف أنواعها ، ومن هنا ظهرت وحدات جديدة.

وحدات قياس امتصاص الإشعاع:

الراد *(RAD)*:

هو الجرعة الممتصة من الإشعاع، وهذه الوحدة تصلح لجميع أنواع الأشعة المؤينة (ألفا ـ بيتا ـ جاما ـ الأشعة السينية ـ البوزيترونات ـ النيوترونات ـ الأيونات الموجبة والأشعة الكونية). كما تصلح أيضاً لجميع الأوساط الممتصة كالماء والهواء والمعادن والكائنات الحية والأجسام البشرية وغيرها.

جراي *(Gray ; Gy)*:

هي وحدة قياس امتصاص الإشعاع في نظام الوحدات العالمي ولقد سميت على اسم العالم جراي مصمم هذه الوحدة. وتعرف رياضياً هكذا: 1 جراي = 100 راد.

المعامِلات الحيوية:

لكي يتم التعرف على التأثير البيولوجي للإشعاع قام العلماء بابتكار تقنية علمية لمعرفة ما يحدث داخل الوسط الحي عند مرور الإشعاع به، وهذه التقنية سميت بالانتقال الخطي للطاقة، حيث يتم قياس مقدار الطاقة المنتقلة (الممتصة) خلال وحدة أطوال لمسار الإشعاع في الماء (الوسط الممتص)، ولقد تم اختيار الماء لأنه يقارب الخلايا الحية من حيث التكوين الكيميائي والحيوي. ويتم في هذه التقنية قياس مقدار التأيين الذي يحدث في جزيئات الماء نتيجةً لمرور الإشعاع الذري خلال مسافات خطية متناهية الصغر (تقدر بالميكرومتر). ويتم حساب مقدار التأيين الناتج من خلال قياس كمية الشحنات التي تكونت داخل الماء نتيجة مرور الإشعاع بها. ولقد تم عمل تجارب عديدة من هذا النوع على جميع أنواع الأشعة المؤينة حتى يمكن التفرقة بينها من حيث قدرتها على إحداث تأيين داخل الماء، وبالتالي داخل الخلايا الحية مما يسهل معرفة كمية الأذى أو الضرر الذي يمكن حدوثه داخل الخلايا الحية بصفة عامة والأجسام البشرية بصفة خاصة نتيجة لتعرضها لنوع معين من الإشعاع الذري.

وبناءً على ما سبق فقد تم استحداث معامل جديدة سميت بمعامل الكفاءة للإشعاع لأنواع الإشعاع المختلفة. حيث تختلف قيمة الإشعاع من إشعاع لآخر حسب مقدار الطاقة المؤينة التي ينتجها الإشعاع داخل الوسط الممتص أثناء مروره بداخله.

ولقد اصطلح على أن يكون معامل الكفاءة للإشعاع مساوياً للواحد الصحيح وذلك لنوع الإشعاع الذي ينتج عنه عدد من الأيونات يقدر بحوالي 100 زوج ذات طاقة مقدارها 3.5 كيلو فولت خلال مسار خطي طوله واحد ميكرومتر الماء.

وتنتج كل من الأشعة السينية وأشعة جاما وأشعة بيتا والبوزيترونات انتقال خطي الطاقة قدره 3.5 كيلو فولت في النانومتر من الماء وبناءً على ذلك فإن معامل الكفاءة لها يساوي الواحد الصحيح.

وبما أن مقدار الضرر الذي يحدثه الإشعاع لا يتوقف فقط على كمية الطاقة الصادرة من المادة المشعة، بل يتعداه ليشمل مدى حساسية النسيج الحي الممتص لهذا الإشعاع، وحيث إن كل عضو في الجسم يختلف في هذه الحساسية عن الأعضاء الأخرى، فقد تم استنتاج معامل جديدة لكل عضو على حدة، هي معامل الوزن النوعي (WT)، بعد ذلك تم الأخذ في الاعتبار كل ما سبق، توصل العلماء إلى وحدتين لقياس مقدار التأثير الحيوي للإشعاع هما:

- **الجرعة المكافئة:**

وهذه الوحدة تقيس مقدار التأثير الحيوي للإشعاع على نسيج حي، وتعتمد على نوع الإشعاع الساقط وكميته والوزن النوعي للعضو. مقياس الجرعة هذه يتم بوحدة تسمى السيفرت.

- **الجرعة الفعالة:**

وهذه الوحدة تقيس مقدار الخطر المحتمل حدوثه في الجسم كله نتيجة تعرضه للجرعة نفسها التي تعرض لها أحد أعضاء الجسم منفرداً، مقياس الجرعة هذه أيضاً بوحدة تسمى السيفرت.

الفصل الثالث

استخدامات الإشعاع النووي

لقد أحدث اكتشاف الإشعاع النووي بمستوياته المختلفة طفرة نوعية في جميع مجالات الأبحاث التي أذهلت العالم الذي سارع ـ وبشغف إلى الاستفادة منه واستغلال خصائصه في مجالات الحياة المختلفة كالطب علاجاً وتشخيصاً، والصناعة سلماً وحرباً، والزراعة نوعاً وكمّاً، وتوليد الطاقة وتحلية المياه.

استخدام الإشعاع النووي في الصناعة:

يستخدم الإشعاع بشكل واسع وفعال في العديد من مجالات الصناعة، على سبيل المثال لا الحصر، توليد الطاقة الكهربائية وتصنيع الحديد والصلب والأسمنت والسيراميك. كما أن الإشعاع يستخدم في عمليات ضبط الجودة في أغلب المصانع مما يجعل الإشعاع أكثر التقنيات شيوعاً في معايرة المواد المصنعة و التحكم في عمليات التعبئة، كما يساعد في دراسة التركيب الكيميائي للمواد الخام والتعرف عليها.

استخدام الإشعاع النووي في الزراعة:

استفاد المجال الزراعي كثيراً من استخدام المواد المشعة، وبخاصة أشعة جاما والأشعة السينية. حيث تم إحداث طفرات في نوعية البذور من خلال تغيير التركيب الجيني لها، واستنباط أصناف جديدة تتميز بالإنتاجية العالية والمقاومة العالية للأمراض. كما استخدمت الأشعة النووية في مجال مكافحة الحشرات الضارة بالنباتات والمزروعات، من خلال تعريض الحشرات إلى الإشعاع لجعلها عقيمة، فيتم القضاء على هذا النوع من الحشرات تدريجياً. وبالفعل، فقد نجحت بعض البلدان في القضاء على بعض هذه الآفات الزراعية. أما المحاصيل الزراعية فقد حظيت

هي الأخرى بفوائد كثيرة من استخدام المواد المشعة، حيث يتم تعقيمها عن طريق تعريضها لأشعة جاما من أجل قتل الجراثيم الضارة والمكروبات، مما يسهل حفظها لفترات زمنية أطول ودون حدوث تلف لها.

استخدام الإشعاع النووي في الأبحاث الجيولوجية:

تستخدم الأشعة في دراسة الطبيعة وتطور الكرة الأرضية والعناصر المكونة لصخورها. كما مكن استخدام المعلومات الفيزيائية الخاصة بالعنصر المشع (اليورانيوم ـ 238)، والأجهزة الدقيقة لقياس الإشعاع من معرفة العمر التقريبي للأرض، من خلال معرفة مقدار النقص أو الاضمحلال في هذا العنصر الذي يدخل في تكوين صخور الأرض بنسب محددة، ومقارنة هذه النتائج بعمر النصف لهذا العنصر.

استخدام الإشعاع النووي في الطب:

يتم التصوير بالإشعاع الطبي بهدف تشخيص الأمراض أو المعالجة باستخدام الأشعة النووية الصادرة من نواة الذَرة في مجال الطب النووي. يعتبر الطب النووي من التخصصات الفعالة التي تؤثر في تشخيص المريض ومعالجته، وهو يعكس الحالة الفيزيولوجية للعضو، ونخص بالذكر تشخيص الأورام السرطانية ومعالجتها وتشخيص أمراض القلب، حيث إن فحوص الأورام تشكل نسبة لا تقل عن (50%) مع وجود التصوير البوزيتروني. وبالإضافة إلى تصوير الأورام وفحوص القلب، فإن مجال الطب النووي يساعد في تشخيص كثير من المشكلات التي تصيب الجسم مثل مشكلات العظام والكلى والدماغ والغدد الصماء واكتشاف الالتهابات وقصور وظائف الأعضاء المختلفة.

التشخيص بالتصوير الإشعاعي النووي:

إن الطب النووي مجال يستخدم النظائر المشعة. وقد سمي بهذا الاسم نظراً لأن النظائر المشعة المستخدمة تُصدر عند اضمحلالها أشعة نووية، أي إن مصدرها نواة الذرة.

والنظائر هي عناصر متشابهة في السلوك الكيميائي، وتختلف في الصفات الفيزيائية. ولهذا يدلل عليها بنفس الرمز الكيميائي، ولكن باستخدام أرقام مختلفة، ومثال على ذلك عناصر اليود التي يوجد منها العديد من النظائر، منها غير المشع (يود ـ 127) ومنها المشع (يود ـ 131).

تتكون العناصر من ذرات، وتتكون الذرات من نواة يحاط بها هالة من المدارات التي تسبح فيها إلكترونات. وعملية الاضمحلال الإشعاعي هي العملية التي تتحول بها العناصر من حالة عدم الاستقرار (الحالة المشعة) بسبب وجود طاقة زائدة في النواة إلى حالة الاستقرار (الحالة غير المشعة) عن طريق التخلص من الطاقة الزائدة على شكل إشعاع. وبما أن مصدر هذا النشاط هو نواة الذرة، فتسمى الأشعة الصادرة منها بالأشعة النووية. هذا وقد يصاحب النشاط النووي صدور أشعة من مدارات الذرة تسمى بأشعة إكس أو الأشعة السينية.

عند استخدام الأشعة النووية لدواعي التشخيص، يتناول المريض ـ إما عن طريق الفم أو بالحقن الوريدي ـ مادة مشعة يتم اختيارها بحيث تناسب صفاتها الكيميائية والحيوية وظيفة العضو المراد دراسته، وتحدد جرعتها حسب طبيعة المسح الإشعاعي ووزن المريض وعمره. وعند دخولها إلى الجسم تنتشر المادة بالجسم وتتركز في العضو بتوزيع وكثافة، وتمثل الحالة الوظيفية له.

أثناء بقائها في العضو تصدر المادة أشعة جاما النووية التي يتم التقاطها بواسطة أجهزة خاصة تسمى الجاما كاميرا. تحول هذه الكاميرات الأشعة الصادرة من جسم المريض إلى صور، يمكن التقاط صور متعددة دون الحاجة إلى إعطاء مادة مشعة إضافية ، كما أن من الممكن تتبع المادة المشعة في العضو المراد فحصه، مما يسهل تقييم وظيفته أو القصور في وظيفته إن وجدت. وبعد الانتهاء من التقاط الصور، يتم تجميعها وتحليلها بواسطة حواسيب وبرمجيات خاصة، يتم من بعدها حساب وظيفة العضو بدقة. هناك نوعان من التصوير في فحوص الطب النووي، الساكن والمتحرك.

الشكل (14): الجاما كاميرا

أهمية الإشعاع النووي:

- تقييم نشاط العضو ومستوى كفاءته.
- التشخيص المبكر للمرض.
- تحديد نسبة الخلل الوظيفي للعضو المصاب.
- القدرة على متابعة تطور الحالة المرضية بدقة.
- القدرة على اكتشاف مشكلات أخرى حيث يتم تصوير الجسم بالكامل.
- تحديد مدى فاعلية وتأثير العقاقير الطبية في علاج الأمراض.
- دقة العلاج لتوجيهه إلى العضو المصاب.
- تعرض المريض أثناء وبعد الفحص إلى كمية قليلة جداً من الإشعاع.

فيما يلي بعض الأمثلة على فحوص الطب النووي التشخيصية.

فحوص الغدة الدرقية:

تمتاز الغدة الدرقية بحاجتها إلى اليود لتكوين الهرمونات الخاصة بها، وشراهتها في التقاط اليود من الدم. وبما أن النظائر متشابهة في الخصائص الكيميائية، فلا

تميز الغدة بين النظير المشع وغير المشع. فإذا ما تم حقن المريض أو تم تناوله يوداً مشعاً فإن اليود سوف يتركز في الغدة بدرجة تتناسب مع نشاطها وبتوزيع يماثل التغير في توزيع الخلايا ونشاطها. ويستخدم التكنيشيوم الحر بالإضافة إلى عدة أنواع من نظائر اليود في تصوير الغدة الدرقية وقياس نشاطها، وهناك نوعان من الفحوص للغدة الدرقية، الأول: قياس النشاط والثاني: تصوير الغدة الدرقية. ويمكن إيجاز الحالات التي يتم طلب فيها تصوير أو قياس نشاط الغدة الدرقية بما يلي:

- معرفة حجم الغدة و امتدادها.
- حالات تضخم الغدة العنقودي .
- حالات نشاط الغدة الدرقية.
- حالات التهاب الغدة الدرقية.
- سرطان الغدة الدرقية.
- أمراض الغدة الخلقية في الأطفال.
- تقييم حالة الغدة بعد الاستئصال.
- تقييم وجود أنسجة خارج الغدة الدرقية.

المواد المستخدمة في تصوير الغدة الدرقية هي مادة التكنيشيوم وتعطى عن طريق الحقن الوريدي، ومادة اليود المشع ـ 131، وتعطى عن طريق الفم إما سائل أو كبسولات. ولكل مادة استخداماتها ومميزاتها عن المادة الأخرى. حيث يمّكن اليود من عمل تقييم لنشاط الغدة، كما يمّكن تصوير مرضى سرطان الغدة الدرقية. وتوضح الصور التالية مثالاً على فحص لمريض السرطان باستخدام (اليود ـ131).

فحوص الكلى:

هناك نوعان رئيسيان من فحوص الكلى في الطب النووي. النوع الأول، يقيم مقدرة الكلى على أداء وظيفتيهما كمرشح للدم وتكوين البول، وفيه يحقن المريض

وريدياً بمادة مشعة تدخل الكلى مع الدم وتمر بجميع مراحل تكوين البول. لتوضيح ما إذا كان هناك نقص أو انسداد في التروية الدموية، وأما النوع الثاني، فيقيم سلامة خلايا الكلى، وفيه يحقن المريض بمادة مشعة تدخل الخلايا السليمة وتبقى فيها فترة من الزمن تكفي لأخذ صور لها. فإذا كان هناك ندب في الكلية ناتجة عن التهابات سابقة ظهر ذلك كمنطقة خالية من المادة المشعة. كما تستخدم هذه النوعية من الفحوص لدراسة مرضى زراعة الكلى، وارتداد البول عند الأطفال، والمشكلات الخلقية في الكلى. والمواد المستخدمة في هذه الفحوص، مواد دوائية تضاف إلى مادة التكنيشيوم.

فحوص القلب:

من أكثر الفحوص طلباً في أقسام الطب النووي، وهناك نوعان رئيسيان من فحوص القلب. النوع الأول، يقيم مقدرة القلب على أداء وظيفته كمضخة للدم، وفيه يحقن المريض وريدياً بمادة مشعة تختلط بكريات الدم الحمراء، ويتم تصوير حركة القلب بالاستعانة بجهاز استشعار لنبضات القلب. وأما النوع الثاني، فيقيم الشرايين التاجية ومقدرتها على تغذية عضلة القلب، وفيه يحقن المريض وريدياً بمادة مشعة تدخل عضلة القلب مع الدم. فإذا كان هناك ضيق شديد في شريان يغذي جزءاً معيناً من عضلة القلب فإن ذلك يظهر بالصور على هيئة نقص بتركيز المادة في ذلك الجزء من العضلة. تُجرى هذه الفحوص لتقييم وظيفة القلب نتيجة اشتباه في إصابات بشرايين القلب أو لتقييم وظيفة القلب قبل العمليات الجراحية، أو بعض المعالجات مثل المعالجة الكيميائية للسرطان.

يظهر نقص التروية أثناء الإجهاد كنقص في تركيز المادة المشعة في الجزء السفلي من العضلة. وعادة ما يُقرن فحص القلب بعمل مجهود يؤدي إلى تسارع ضربات القلب وزيادة انقباض العضلة، فإن كان هناك ضيق أو انسداد في الشرايين يزداد بعمل المجهود، ولا تصل المادة إلى الجزء المتأثر من العضلة. وبالإمكان الاستعاضة عن المجهود باستخدام مادة دوائية تعطي نفس تأثير المجهود. كانت المواد المستخدمة بنسبة أقل الآن هي مادة الثاليوم، أما المادة الأكثر استخداماً هي مادة دوائية تضاف إلى مادة التكنيشيوم المشع.

فحوص الدماغ:

يغلف الدماغ حجاب يمنع أغلب المواد من الوصول إلى الدماغ باستثناء مواد محددة وضرورية. إلا أن هذا الحجاب الحيوي يتأثر بالعديد من الأمراض التي تصيب الدماغ. فإذا ما تم حقن المريض بمادة مناسبة لا تصل إلى الدماغ في الحالات الطبيعية ووصلت إليه في هذه الحالة، دل ذلك على وجود خلل ما.

كما يمكن حقن المريض بمادة أخرى لها القدرة على اختراق الحجاب في الحالات الطبيعية. وإذا كانت الحالة تحت التصوير غير طبيعية فإن المادة لا تستطيع الوصول إلى الدماغ كما في حالة الوفاة الدماغية، أو أنها تتوزع داخل الدماغ بشكل غير متجانس يمثل الفرق في النشاط العصبي بين المناطق السليمة والأخرى المريضة. يعمل هذا الفحص للكشف عن وجود أورام سرطانية أو حميدة، أو وجود التهاب في المخ، كما يستخدم نوع خاص من المواد المشعة و الدوائية في حالات الصرع والخرف وأمراض عصبية أخرى.

فحوص العظام:

تحتوي العظام على الكالسيوم والفسفور. وعند حقن المريض بمادة مشعة تحتوي على الفسفور، وتتركز المادة في العظام بشكل وكثافة يمثلان نشاط الخلايا العظمية، أو سرعة تدفق الدم إليها. وفي أغلب الحالات المرضية، تزداد الخلايا نشاطاً أو يزداد الدم تدفقاً، ويظهر ذلك في الصور على شكل بقع ذات تركيز عالٍ. ويستخدم هذا الفحص في حالات الالتهاب في العظام والمفاصل والأورام الحميدة أو الخبيثة، الأولية أوالثانوية، والكسور.

فحوص الرئتين:

ينقل الدم الأكسجين إلى خلايا الجسم ، وينتقل الأكسجين إلى الدم عبر الرئتين. وحتى تتم عملية نقل الأكسجين إلى الدم لابد من وصول كل من الهواء والدم إلى داخل الرئتين. في حالة حدوث جلطة في الرئة ينقطع الدم، فلا يصل إلى مناطق بالرئة أبعد من مكان الجلطة. وفي حالة حدوث التهابات مثلاً، تتجمع سوائل داخل الرئة فلا

يتمكن الهواء من الوصول إلى هذه المناطق. وعليه فإن الجلطة في الرئة تؤثر في توزيع الدم أكثر من تأثيرها على انتشار الهواء، والعكس صحيح في حالة التهابات الرئتين.

بناءً على ما سبق، فإن الفحص النووي للرئة يتكون من جزئين. في الجزء الأول، يحقن المريض بمادة مشعة وريدياً، فإن توزعت المادة في الرئتين بشكل متجانس دل ذلك على عدم وجـود جلطة. أما إن لم تتمكن من الوصول إلـى منطقة معينة دل ذلك على احتمال وجـود جلطة في ذلك المكان، والجزء الثاني يتنفس فيه المريض هواء به مادة مشعة. فإن كان انتشار الهواء أفضل من توزيع الدم زاد ذلك من احتمال حدوث جلطة.

فحوص الجهاز الهضمي:

هناك أكثر من فحص للجهاز الهضمي، يمكن إيجازه بما يلي:

1. فحص تفريغ المعدة: يستخدم الفحص للكشف عن كفاءة تفريغ المعدة حيث تستخدم وجبة خاصة مخلوطة مع المادة المشعة، ثم نقوم بحساب المادة المشعة المتبقية بالمعدة واستخلاص سرعة التفريغ.
2. فحص القنوات المرارية: التي تُجرى لمرضى يشتبه عليهم وجود التهاب بالحوصلة المرارية وانسداد القنوات المرارية، في هذه الحالة تمنع وصول المادة المشعة إلى المرارة في حالة التهاب الحويصلة المرارية، حيث يتم تتبعها، إلى الأمعاء.
3. فحص اليوريا التنفسي: ويهدف إلى اكتشاف الجراثيم المسببة لالتهاب قرحة المعدة ويستخدم فيها الكربون المشع.

كما يتم أيضاً استخدام الطب النووي في فحص أعضاء أخرى مثل، الطحال والبنكرياس والغدة الدمعية للعين والغدد اللعابية والمرارة والكبد.

فحوص الأورام:

يلعب الطب النووي دوراً مهماً في تشخيص العديد من الأورام، وتوجد العديد من الفحوص التي تساعد على التشخيص المبكر للأورام، وتحديد مدى انتشارها، كما تلعب دوراً مهماً في تقييم نجاح العلاج المستخدم. ولكل نوع من الأورام مواده المشعة

والدوائية الخاصة، مثل، أورام الغدد الدرقية، وأورام العظام، وأورام الرئتين وغيرها، وإن كانت الريادة الآن لفحوص التصوير البوزيتروني.

التصوير البوزيتروني:

يعتبر التصوير البوزيتروني أحدث وسائل التصوير الطبي، وتستخدم فيه نظائر مشعة يصدر عنها إشعاع نـووي وعمرها قصير مقارنة مع النظائر المستخدمة في التصوير النووي الاعتيادي. ويتم إنتاج هذه النظائر بواسطة معجلات نووية، أو أجهزة طرد مركزي.

يعتبر التصوير الجزيئي ثورة نوعية في مجال الطب النووي، حيث مكن الأطباء من فهم أفضل لكثير من الأمراض وفاعلية كبرى في معالجتها. إذ قد يسمح هذا النوع من التصوير لرؤية التغييرات الوظيفية على مستوى الخلايا سواء أكانت طبيعية أو مرضية، فيتيح بذلك الاكتشاف المبكر للأمراض، وإيجاد أفضل السّبل للمعالجة، كما أنه يمنح القدرة على تقييم العلاج مبكراً، وبالتالي تعديله ليلائم حاجة كل مريض على حدة بما يتناسب مع طبيعته العضوية.

العلاج الإشعاعي:

العلاج الإشعاعي التقليدي يكون باستخدام مصدر خارجي يستخدم فيه مصدر إشعاع يكون خارج الجسم، يطلق أشعة تخترق الجسم من زوايا محددة وبجرعات مدروسة ليكون تركيزها في منطقة الورم فتقضي عليه. ويكون المصدر إما جهازاً يطلق أشعة سينية، أو إلكترونات سريعة، أو يكون عبارة عن أحد النظائر المشعة التي تطلق أشعة نووية (أشعة جاما) عالية الطاقة. من النظائر المشعة الأكثر استخداماً في هذا المجال نظير عنصر الكوبلت 60، أو نظير عنصر السيزيوم ـ137. ولا يعتبر هذا النوع من علاجات الطب النووي.

استخدامات الإشعاع النووي العلاجية:

تصدر بعض النظائر المشعة بالإضافة إلى أشعة جاما أجسام البيتا التي لها قدرة كبيرة على التأين. والتأين يحدث عند فقد ذرات الجسم إلكترونات. و نتيجة لهذه

العملية، تتكسر الروابط الكيميائية وتقتل الخلايا سريعة الانقسام، كخلايا السرطان. فإذا ما أُعطي مريض السرطان مادة مشعة مناسبة تصدر أجسام بيتا، فإن هذه الأجسام تعمل على قتل الخلايا السرطانية. هذا وتُعطى النظائر المشعة المستخدمة في معالجة المريض عن طريق الفم أو الحقن أو بشكل كبسولات تزرع تحت الجلد قرب المنطقة المصابة.

وغالباً ما تأتي المعالجة بالنظائر المشعة بنتائج مشجعة في حالات كثيرة، كما في حالات زيادة نشاط الغدة الدرقية وبعض أورامها، وبعض الأورام الخبيثة وسنأتي بشيء من التفصيل لأهم هذه العلاجات.

معالجة حالات زيادة نشاط الغدة الدرقية:

ففي معالجة حالات زيادة نشاط الغدة الدرقية (التسمّمي) على سبيل المثال، يستخدم نظير عنصر اليود -131 الذي يُعطى للمريض عن طريق الفم على شكل كبسولة أو شراب. ويعتبر هذا العلاج الاختيار الأمثل لكثير من الحالات، ويعطي نتائج جيدة خلال أسابيع. وتختلف المراكز الطبية في طريقة حساب الجرعة أو البروتوكول العلاجي المستخدم و لكن بالمجمل، جميعها تعطي نفس النتائج. ومن الممكن تكرار هذا النوع من العلاجات ولا يحتاج إلى دخول المستشفى. ويعتبر هذا النوع من العلاج من أقدم العلاجات المستخدمة في مجال الطب النووي، حيث يعتقد أنه بدأ في بداية الستينيات من العقد الماضي.

معالجة حالات سرطان الغدة الدرقية:

في حالة سرطان الغدة الدرقية، تستخدم جرعات من اليود ـ131 أعلى بكثير من حالات زيادة نشاط الغدة. وتعطى للمريض بعد إجراء عملية استئصال كاملة للغدة الدرقية. كما تستخدم نفس المادة لعمل فحوص لمريض السرطان لمتابعة حالته وتطور المرض وانتشاره. ويعتبر العلاج باليود المشع من أنجح العلاجات المستخدمة في علاج سرطان الدريقات وانتشاره.

والجدير بالذكر أن الإشعاع الصادر من اليود المشع هو من أشعة بيتا التي لها القدرة على تدمير التورم (السرطان). هذا النوع من العلاجات بالإمكان تكراره على فترات زمنية متباعدة ويستوجب دخول المريض المستشفى.

معالجة آلام العظام الناتجة عن نقائل الأورام السرطانية:

تستخدم عدة مواد مشعة لهذا الغرض وأكثرها استخداماً هي، مادة (سترنشيوم - 89)، عن طريق الوريد. يهدف هذا العلاج إلى تقليل استخدام المسكنات التي تستخدم بكثرة نتيجة الألم المصاحب لانتشار السرطان أياً كان نوعه، وانتشاره إلى العظام. وتسبب هذه الثانويات في العظام آلاماً غير محتملة تستدعي أن يتناول المريض مسكنات بصورة كبيرة، ومن الممكن الاستغناء عن هذه المسكنات في حالة استخدام هذا النوع من العلاج لمدة قد تصل إلى عام كامل. وهذا النوع من العلاج من الممكن تكراره ولا يحتاج دخول المستشفى.

معالجة أورام الكبد:

يمكن إعطاء المرضى الذين يعانون من أورام الكبد مواد مشعة تم ربطها بجزيئات خاصة التي عند حقنها بالدم تلتصق بالأورام مما يتيح للمادة المشعة العمل على القضاء على خلايا الورم بشكل أكثر تركيزاً، وبما يحفظ باقي الخلايا الطبيعية من التلف. وعادة ما يستخدم هذا النوع من العلاجات بعد فشل الطرق الأخرى أو استحالة استخدامها مثل الجراحة أو العلاج الكيميائي.

معالجة أمراض المفاصل:

أمراض المفاصل متعددة وتسبب آلاماً ومضاعفات عديدة، وقد تصل إلى عدم القدرة على الحركة. وفي بعض أنواع التهاب المفاصل المصاحب لالتهاب شديد في الأغشية المبطنة لهذه المفاصل من الممكن أن تستجيب إلى العلاج الإشعاعي باستخدام مادة مشعة إيتريوم ـ 90، وذلك عن طريق حقنها بالمفصل المصاب مباشرة. ومن خلال الإشعاع المصاحب لهذه المادة المشعة يتم تدمير خلايا الغشاء المبطنة للمفصل المصاب.

معالجة الأورام العصبية الهرمونية:

تستخدم مادة (MEBG) بواسطة اليود المشع ـ 131، موجهة إلى الخلايا السرطانية في الأورام العصبية الهرمونية، ويستخدم بعد فشل الطرق العلاجية الأخرى.

استخدامات طبية أخرى:

تستخدم النظائر المشعة في إجراء بعض التحاليل المخبرية كما هو مستخدم في طريقة المقايسة المناعية الإشعاعية التي يقاس بها مستويات العديد من الهرمونات والفيتامينات والفيروسات، حيث يتم سحب عينة من دم المريض، ثم يضاف إليها مادة مشعة مناسبة. وتستخدم أجهزة خاصة لقراءة مستوى الإشعاع المنبعث من العينة الذي يتناسب مع كمية الهرمون أو الڤيروس أو الڤيتامين الموجود في الدم. ومن أمثلة ذلك استخدام نظير عنصر اليود- 125 لتقدير هرمونات الدريقات.

تستخدم النظائر المشعة في تقدير كمية بعض المواد والأدوية والهرمونات في الدم، وذلك باستخدام جهاز يسمى العداد الوميضي، وذلك بسحب عينة من دم المريض وفصل المصل (البلازما)، وإضافة النظير المشع الخاص بالمادة المعينة إليه، فمثلاً في تقدير نسبة هرمون الثيروكسين الذي تفرزه الدريقات يستعمل اليود ـ 125 ثم يوضع في جهاز العد الوميضي الذي عن طريق الحاسب الآلي المتصل بهذا الجهاز تتم قراءة نسبة وجود المادة في الدم وبطريقة حسابية وبيانية يتم حساب تقدير كمية هذه المادة في الدم.

الهرمونات التي يتم تقديرها في الدم باستخدام النظائر المشعة:

- هرمونات الغدة النخامية مثل هرمون النمو، الهرمون المنشط للغدة الدرقية والهرمونات المنشطة للمبيض في الأنثى والخصية في الذكر.
- هرمونات الغدة الدرقية مثل هرمون الثيروكسين.
- هرمون الغدة الكظرية مثل الكورتيزون.
- هرمون الغدة التناسلية الذكرية (التيستوستيرون).
- هرمون الغدة التناسلية الأنثوية (الإستروجين والبروجيستيرون).
- هرمون غدة البنكرياس (الأنسولين).

ومن أمثلة المواد الأخرى التي تقدر كميتها في الدم بواسطة المواد المشعة هي:

- دواء الديجوكسين الذي يستخدم في أمراض القلب.
- فيتامين B_{12}.
- حامض الفوليك، الهيستامين.

وتتم هذه التحاليل في مختبر خاص مجهز بأحدث الأجهزة، ويسمى بالمختبر النووي. كما تستخدم الأشعة النووية في تعقيم الأمصال الطبية، حيث يتم تعريضها إلى إشعاع، لإضعاف قدرة الجراثيم والمكروبات الموجودة بداخلها إلى درجة يصبح معها تناول الأمصال آمناً. وبنفس الطريقة، يتم استخدام الأشعة في تعقيم بعض المنتجات المستخدمة في مجال الطب، كالحقن البلاستيكية.

المعالجة الكيميائية:

يعـرّف العـلاج الكيميائـي بأنـه عـلاج الأمـراض المستهدفة باستخدام المواد الكيميائية غالباً لقتل الخلايا السرطانية، وذلك عن طريق استخدام عقاقير مضادة للأورام بأسلوب علاجي سام للخلايا.

يعمل العلاج الكيميائي على قتل الخلايا السرطانية التي تتكاثر بسرعة ولكنه أيضاً يَضُر بالخلايا الطبيعية التي تنقسم بسرعة. وينتج عن ذلك معظم الآثار الجانبية للعلاج الكيميائي مثل: انخفاض إنتاج كريات الدم، والتهاب بطانة الجهاز الهضمي، وتساقط الشعر. بينما لا توجد هذه الأعراض الجانبية عند استخدام العلاج بالنظائر المشعة.

وتشمل الاستخدامات الأخرى للعلاج الكيميائي، علاج الأورم السرطانية، أمراض المناعة الذاتية، ومرض التصلب المتعدد، والتهاب العضلات المتعدد، والجلد، والمفاصل، والذئبة الحمامية المجموعية، ورفض الجسم لزراعة عضو جديد (تثبيط مناعي).

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
١٤٠٤ هـ
١٩٨٣م
ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

الفصل الرابع

مصادر المواد والأدوية المشعة

إن استخدام الأدوية المشعة في التصوير والعلاج يعد شيئاً فريداً لا نراه في فحوص الأشعة التقليدية، وقد مكن هذا الاستخدام من وضع خريطة لوظيفة العضو المراد تصويره، أو دراسة عمليات الأيض في ذات العضو. كما أن تتبع توزيع المادة المشعة داخل العضو المراد فحصه أعطى كثيراً من المعلومات بطريقة آمنة وغير خطرة، وساعد في تشخيص الكثير من الأمراض قبل حدوث التغييرات التشريحية التي يمكن اكتشافها بطرق الأشعة التقليدية التي تلتقط التغييرات الحاصلة بالأنسجة والأعضاء التي تحدث بعد فترة من حدوث التغييرات الفيزيولوجية.

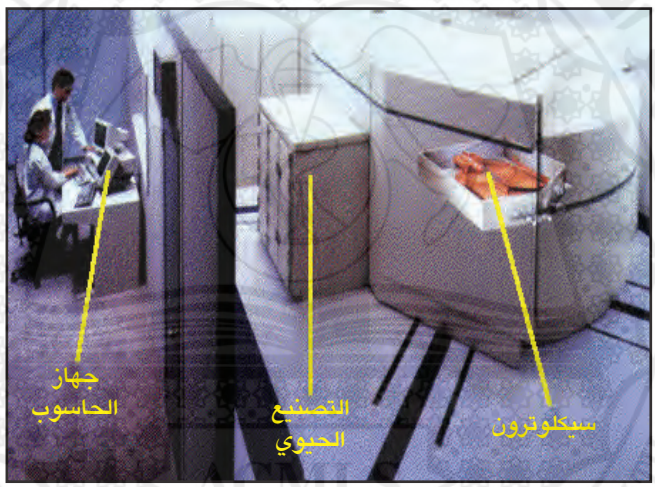
النظائر المشعة والمواد الدوائية المشعة:

المواد المشعة الدوائية أو الأدوية المشعة هي تركيبات دوائية تحتوي على النظائر المشعة وتكون آمنة للاستخدام الآدمي إما للتشخيص أو للمعالجة. وقد تم إنتاج بعض من هذه النظائر المشعة منذ زمن بعيد يمتد إلى عام 1946 من المفاعلات النووية بقصد المعالجة مثل اليود المشع ـ 131 الذي يستخدم إلى يومنا هذا في معالجة حالات الغدة الدرقية النشطة ومعالجة سرطان الغدة الدرقية. وإلى جانب المفاعلات النووية هناك المفاعلات النووية البحثية التي ساعدت كثيراً في إنتاج العديد من النظائر المشعة التي تأتي على رأسها تلك المستخدمة في المجال الطبي، وبالأخص الطب النووي. المفاعلات النووية البحثية ذات الطاقة العالية والمتوسطة تستخدم لإنتاج النظائر المستخدمة طبياً وصناعياً مثل: الموليبدنوم ـ 99 الذي يستخدم لإنتاج التكنيشيوم ـ 99 الذي سبق الإشارة إليه، واليود ـ 131 والفسفور ـ 32، والكروميوم ـ 51 والسترونشيوم ـ 89 وغيرها الكثير.

كما أن استخدام المعجل الدائري في إنتاج الأدوية المشعة كان لإنتاج النظائر المشعة في جوانب التشخيص (فحوص الطب النووي)، والإنديوم ـ 111 يستخدم

للفحوص التقليدية المستخدمة في الطب النووي، وعادة ما تكون معجلات دائرية ذات طاقة عالية.

كما أن المعجل الدائري (كما هو موضح بالصورة) يستخدم للحصول على المواد المشعة المستخدمة في فحوص التصوير البوزيتروني التي لها انتشار واسع في هذه الأيام. والمعجلات الدائرية المستخدمة لهذا الغرض، هي المعجلات ذات الطاقة المنخفضة. ومن أمثلة المواد المنتجة من المعجل الدائري: الثاليوم ـ201 واليود ـ 123، والنظائر المشعة مثل الفلورين ـ 18، الكربون ـ 11، النتروجين ـ 13، الأكسجين 15، وأكثرها استخداماً هو الفلورين.



الشكل (15): المعجل الدائري

إنتاج الأدوية المشعة والتحديات:

يوجد حالياً أكثر من 100 دواء مشع يُنتج إما من المفاعلات النووية أو من المعجلات الدائرية التي تستخدم في تشخيص الكثير من الأمراض ومعالجة بعض الحالات التي أغلبها أنواع معينة من السرطان. إن إنتاج الأدوية المشعة يتطلب الكثير من اشتراطات التعامل مع النظائر المشعة والتركيبات الكيمائية، ومن أهم هذه الاشتراطات التعامل مع المواد المشعة، والنظائر المشعة من حيث شروط الإنتاج، والتصدير، والتوريد، والمحافظة على مستوى معين من صيانة الأجهزة والمرافق المستخدمة في عمليات التصنيع والإنتاج، ومتابعة الجودة في جميع هذه العمليات.

إن المستوى المحلي أو الإقليمي والعالمي مع السلطات المعنية، وخاصة فيما يتعلق بموضوع النقل، يتطلب وجود سجل واضح لهذه المواد من بداية عمليات التصنيع والإنتاج وكمياتها ونسبتها، وإلى أن يتم نقل المواد، سواء استخدمت لأغراض تجارية أو علمية بحثية.

إن المواد الدوائية المشعة، بخلاف إنتاج الموارد الدوائية التقليدية، تنتج بكميات قليلة نسبياً على مستوى العالم وباشتراطات مميزة عالية أيضاً مقارنة بإنتاج المواد التقليدية، وذلك لأن إنتاج هذه المواد (الدوائية المشعة) يتطلب الكثير من الشروط الواجب توفرها قبل البدء بالإنتاج، وأثناء عملية الإنتاج، وبعد الانتهاء من الإنتاج. من هذه الشروط : وجود عمالة متخصصة في هذا النوع من الصناعة، ووجود مواد معينة وأجهزة متخصصة في مرافق ذات نوعية عالية من التعقيم، كما يتطلب تسجيل هذه النظائر المشعة والأدوية المنتجة اشتراطات الأمن والنظافة إلى جانب توثيق إنتاج المواد المشعة من بداية التصنيع إلى التصدير أو الاستخدام لوجود قوانين عالمية ملزمة للتحكم في سير ونقل المواد المشعة من هيئات محلية والكثير منها عالمية وإقليمية. ومن هذه الهيئات الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة الصحة العالمية. نقل المواد المشعة أيضاً ضمن اشتراطات معينة وبملصق ذي رمز معروف عالمياً، وبيان مكان ووقت التصنيع، وغيره أيضاً من المعلومات الضرورية.

الشكل (16): كيفية نقل المواد المشعة

كما أن إنتاج المواد الدوائية المشعة من معجلات دائرية ذات طاقة منخفضة منتشر في العديد من البلاد، وذلك لإنتاج المواد المستخدمة في التصوير البوزيتروني وبالأخص مادة الفلورين ـ 18 لترقيم السكر، والطاقة المصاحبة للإنتاج تتطلب الكثير من الحماية والتدعيم للحماية من الإشعاع، وتتطلب نوعية معينة من المعدات للتعامل مع هذه المواد. وأدى انتشار هذه المعجلات الدائرية إلى تطوير نظم إنتاج تسمى الخلايا الحارة التي في معظم جوانبها آلية العمل لا تتطلب الكثير من التدخل الإنساني.

الشكل (17): يوضح العمل داخل الخلية الحارة أو المختبر الحار

مادة التكنيشيوم والمواد الدوائية:

أكثر مادة دوائية مشعة مستخدمة في مجالات التشخيص للطب النووي هي مادة التكنيشيوم، ولقد قدرت عدة دراسات أن استخدام التكنيشيوم في فحوص الطب النووي يشكل نسبة تفوق 80% من الفحوص السنوية. ومن المتوقع أن تستمر هذه النسبة العالية على الرغم من اكتشاف مواد دوائية مشعة جديدة أو التوسع القائم في فحوص التصوير البوزيتروني. ومن أكثر العوامل التي ساعدت على انتشار التكنيشيوم خصائصه وهي :

أولاً: توفـره من مولد إشعاعي حيث تكون المادة الأم هـي الموليبدنـوم ـ 99، والمادة الابنـة هي التكنيشيوم ـ 99 ذات العمر النصفي القصير نسبياً.

ثانياً: الطاقة المناسبة للتصوير الأمثل ومعدل التعرض للإشعاع القليل نسبياً.

ثالثاً: السعر المناسب أدى إلى توفره باستمرار.

رابعاً: صفات جيدة من حيث النقاوة والنشاط الخاص العالي.

إن إنتاج المولدات الإشعاعية للتكنيشيوم يتم في دول كثيرة وبتقنيات مختلفة. كما أن بالإمكان إنتاج المادة الأم "الموليبدنوم" من المفاعلات النووية بتفاعل انشطاري من اليورانيوم 235، وهذه الكمية المنتجة التي تقدر بـ 6% من الانشطار تغطي احتياجات العالم من إنتاج التكنيشيوم من المولدات الإشعاعية.

بعد إنتاج التكنيشيوم من المولدات الإشعاعية، يصبح بالإمكان تكوين المواد المشعة الدوائية المختلفة بإضافة التكنيشيوم إلى المواد الدوائية (الباردة)، وهي عبارة عن مواد يتم تحضيرها في شركات دوائية عالمية لتكون جاهزة للاستخدام بمجرد إضافة المواد المشعة لها وغالبا ما تكون التكنيشيوم دون الحاجة غالباً إلى أية خطوات أخرى لتصبح المادة الدوائية المشعة جاهزة للاستخدام حسب الفحص الخاص. وعادة ما تكون هذه المواد الباردة ذات عمر طويل حتى يمكننا استخدامها لفترات طويلة قبل التحضير بعكس المادة المشعة. يوجد العديد من مصانع هذه المواد الدوائية الباردة وحتى في الدول ذات الإمكانيات البسيطة بدعم من مؤسسات عالمية مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

المواد المشعة المستخدمة في التصوير البوزيتروني:

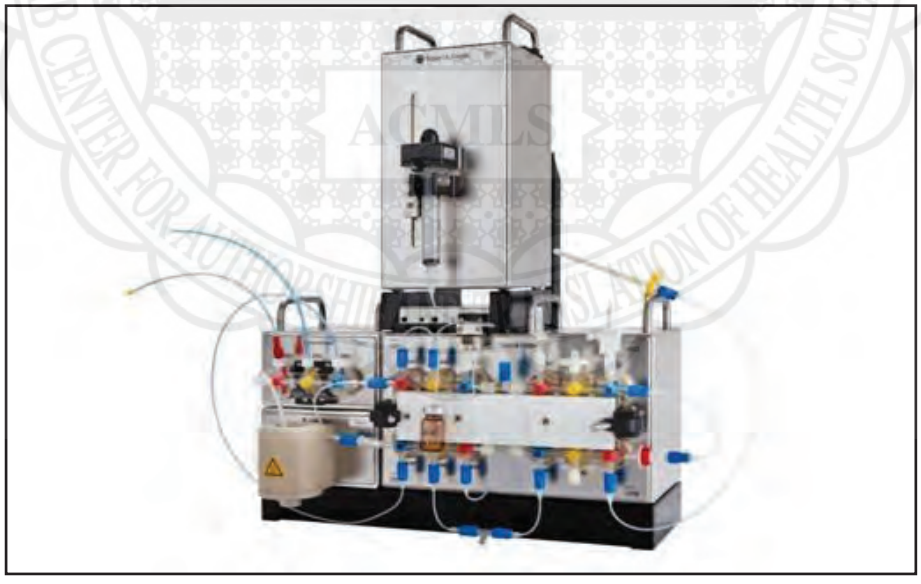
إن بداية استخدام تقنية التصوير البوزيتروني كان متزامناً مع النجاح في تركيب السكر المرقم بفلورين (18) في عام 1976. أول استخدام لسكر الفلورين ـ 18 كان لتوضيح عمليات الأيض في الدماغ الذي ساعد على فهم و متابعة العديد من الأمراض العصبية. والآن يوجد العديد من المواد المشعة التي تستخدم الفلورين، حيث إن 18 منه يتم استخدامه في التصوير من بينها صوديوم الفلورين ـ 18 لدراسة العظام.

كما أن الاستخدام المتسارع في استخدام تقنية التصوير البوزيتروني أدى إلى تطور سريع في التقنيات المصاحبة له مثل تطور في المعجل الدائري وجوانب

الكيمياء الإشعاعية والخلايا الآلية الحارة لإنتاج المواد المشعة والنظم الكاشفة للتسرب الإشعاعي والتلوث الإشعاعي بالإضافة إلـى زيادة في استخدام برامج الحواسيب المتعلقة بتصوير الفحـوص. وانتشرت في الآونة الأخيرة مراكز تحتوي على معجل دائري ووحدة تصوير بوزيتروني، حيث يقوم المعجل بإنتاج المواد المشعة لاستخدامها في هذا المركز وللتوزيع على مراكز طبية قريبة تفتقر لوجود معجل دائري ويكون الإنتاج في ساعات الصباح الأولى. تعتبر هذه المراكز الأكثر شيوعاً، بعد تكرر أزمات إنتاج المواد المشعة التقليدية في أكثر من مرة خلال السنوات العشر الماضية لتعطل بعض المفاعلات النووية على مستوى العالم.

المولدات الإشعاعية لإنتاج مواد التصوير البوزيتروني:

في المراكز الطبية التي تخلو من وجود معجل دائري، أو لا تستطيع جلب مواد من معجل قريب، بالإمكان الآن استخدام مولدات إشعاعية تنتج هذه المواد ذات القصير ومن بينها، مولد الجاليوم ـ 68 والذي يستخدم الجرمانيوم ـ 68، لأن النظير الأم لها نصف عمر طويل يصل إلى 271 يوم. ومولد آخر متوفر بالسوق حالياً هو مولد الروبيديوم ـ 82، وتكون المادة الأم هي السترونشيوم ـ 82 وتستخدم لتصوير تغذية الدم لعضلة القلب.



الشكل (18): مولد الجاليوم ـ 68

الأدوية المشعة تنقسم إلى أربعة أنواع عامة:

1. أية تركيبة دواء تحتوي على نوع واحد أو أكثر من المواد المشعة سالفة الذكر في الفصول السابقة تم تحضيرها لغرض استخدامها في التشخيص أو المعالجة.

2. المولد الإشعاعي، وهو نظام يحتوي على ذرة (أم) تقوم من خلال النظام بإنتاج الذرة (الابنة) التي يتم استخلاصها من المولد الإشعاعي ويتم استخدامها مباشرة بعد استخلاصها في الفحوص سواء تشخيصية أو علاجية.

3. مادة دوائية غير مشعة يتم تحضيرها في مصانع دوائية، ولا تستخدم إلا بعد إضافة المادة المشعة إليها وعادة ما تضاف المادة المشعة مباشرة قبل الاستخدام.

4. مادة مشعة أولية، وهذه لا يمكن استخدامها إلا بعد أن تضاف إلى مادة دوائية، حيث تقوم بترقيمها، وتنتج مادة دوائية مشعة يتم استخدامها.

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE
ACMLS

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
١٤٠٤ هـ
١٩٨٣م
ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

الفصل الخامس

حماية البيئة والعاملين في مجال الطب النووي

تكلمنا في ما سبق عن الإشعاع النووي وماهيته واستخداماته ، وأصبح لزاماً علينا أن نتكلم عن طرق الوقاية من الإشعاع سواء للعاملين المتعاملين معه وبه بشكل يومي أو للمرضى الذين يتعاملون معه في التشخيص والمعالجة أو للبيئة المحيطة بشكل عام.

التأثيرات الحيوية للإشعاع النووي:

تكلمنا عن عملية التأين، وأن أي نوع من الإشعاع يكون له هذا التأثير يسمى بالإشعاع المؤين. والإشعاع المؤين له تأثيرات بيولوجية، وهي تأثيرات متغيرة ومضادة وتستند على عدة عوامل حسب طبيعتها وتوقيتها بعد التعرض للإشعاع.

يمكن تقسيم هذه التأثيرات إلى أربعة أقسام: تأثير مبكر، أو تأثير متأخر، تأثير جسدي، أو تأثير وراثي. ويتسبب الإشعاع المؤين في حدوث هذه التأثيرات بالخلايا الحيويةً من خلال آليتين رئيسيتين هما:

أولاً: التأثير المباشر:

إن الإشعاعات المؤينة تؤثر بواسطة التصادم المباشر للذرّات مع الهدف، وكل الذرات أو الجزئيات داخل الخلايا مثل الإنزيمات والبروتينات التركيبية والأحماض النووية (حمض الرنا، الدنا) قابلة للإصابة بالضرر الإشعاعي.

ثانياً: التأثير غير المباشر:

الإشعاعات المؤينة تعطي تأثيراتها من خلال التحلل الكيميائي للخليّة الحيّة بفعل الأشعة المؤيّنة التي ينتج عنها جزيئات جديدة تتفاعل مع الذرات والجزيئات

داخل الخلايا (خصوصاً شريط الدنا) محدثُةً تغييرات كيميائية وتأثيرات ضارة متتابعة.

العوامل المؤثرة في الضرر الإشعاعي:

أولاً: عوامل تتعلق بالإشعاع:

وهذه عوامل ترتبط بالإشعاع ذاته وتحدد التأثيرات للجرعة المماثلة من أنواع مختلفة من الإشعاع على العضو الحي نفسه. هذه العوامل تشمل:

1 ـ نوع الإشعاع (كميته والطاقة المصاحبة له).

2 ـ معدل الجرعة (أي الزمن الذي استقبل النسيج الحي فيه الجرعة الإشعاعية من خلاله).

ثانياً: عوامل متعلقة بالهدف الحيوي:

الهدف الحيوي المقصود هو الخلايا والأنسجة الحية ، وهذه العوامل هي:

1 ـ الحساسية للإشعاع (حسب معدل انقسام الخلية غير المباشر والنضج الخلوي لها).

2 ـ قدرة الخلية لإعادة بناء ما دمره الإشعاع.

3 ـ طور دورة الخلية خلال تعرض الخلية للإشعاع (كل أطوار دورة الخلية قابلة لتأثر الإشعاع المؤين (الحساسية الإشعاعية)، إلا أن هذه الحساسية الإشعاعية لخلية ما تختلف من طور إلى طور لدورة الخلية).

4 ـ درجة الأكسجة للخلايا والأنسجة (حيث إن وجود جزيء الأكسجين بالخلية يقوي الاستجابة للإشعاع وهذا يسمّى بالتأثير الأكسجيني للخلية).

الأضرار الناتجة عن الإشعاع بالخلايا:

بشكل عام، كل الأضرار الإشعاعية إما أن تكون غير مميتة للخليّة، وبالتالي من الممكن إعادة إصلاحها بالعلاج، أو أن تكون مميتة ودائمة، ولا يمكن إصلاحها. يحدد

هذا المسار جرعة الإشعاع والتغيرات الخلوية المصاحبة للتعرّض. وقد يؤدي تأثير الإشعاع على الخلية إلى:

1. موت الخلية.
2. منع انقسام الخلية.
3. حدوث فوضى في عملية انقسام الخلية تنتج عنه خلايا ذات أنوية شكل وتكوين غير طبيعي (الأورام السرطانية).
4. ضرر قابل للارتداد مع تورم مؤقت للخلية.

التعرض الإشعاعي خلال الإجراءات الطبية:

إن متوسط الجرعة المعطاة للجسم البشري خلال فحص طب نووي تشخيصي في حدود 300 مللي ريم، وهي تختلف حسب نوع الفحص، وعلى سبيل المثال فالجرعة المتصة من فحص التنفس بمادة اليوريا باستخدام الكربون المشع تعادل الجرعة المتصة للمسافر خلال ساعة طيران واحدة، وهذا مثال بسيط يتبيّن فيه مدى ضآلة التعرض الإشعاعي الناتج من الفحوص الطبية، وقد أثبتت الدراسات أنه لم يكتشف أي تأثيرات حيوية ناتجة من التعرض الإشعاعي المنخفض خلال الفحوص الطبية، بل إن الدراسات العديدة أفادت بوجود تأثيرات صحية إيجابية للإشعاع المنخفض متمثلة في انخفاض الوفيات، وانخفاض نسبة حدوث السرطان للتجمعات السكانية التي تتعرض لجرعات إشعاعية منخفضة مقارنة بهؤلاء الذين يعيشون في مناطق يكون فيها مستوى الإشعاع أكثر انخفاضاً وعليه، فإننا يمكن تلخيص علاقتنا بالإشعاع النووي من الناحية الطبية كما يلي:

- لا يمكن وصف أي مستوى للإشعاع بأنه آمن تماماً كما أنه يلزم الجرعات الإشعاعية أن تصل لمستوى معين حتى تتسبب في حدوث ضرر حاد.
- الجرعات المتصة خلال فحوص الطب النووي قليلة جداً، وبالتالي فإن أي ضرر متوقع منها يكاد أن يكون معدوماً.

- الإشعاع النووي يلعب دوراً عظيما في الطب ولا يمكن تقويضه في الاستخدامات الطبية بل إن طريقة الاستخدام الآمنة هي الأهم لجميع مستويات الإشعاع لمنع أو تقليل التأثيرات الحيوية الممكنة للإشعاع.

الوقاية من الإشعاع:

ولدت فكرة الوقاية من الإشعاع، وبدأت تظهر العديد من المنظمات العالمية الدولية المحلية التي تسن القوانين المنظمة للعمل على وقاية المستخدمين للإشعاعات المؤينة والأفراد عامة، وتقوم أيضاً بعمل الأبحاث اللازمة في مجال الوقاية من الإشعاع للوصول إلى تحقيق الهدف المنشود منه وهو أكبر استفادة بأقل ضرر ممكن.

ومن أهم هذه المنظمات التي تم إنشاؤها لغرض الوقاية من الإشعاعات المؤينة ووضع التعليمات المنظمة للعمل في هذا المجال هي الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع وتبعها إنشاء عدد آخر من المنظمات الدولية في نفس المجال مثل، الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياسه، ومنظمة الصحة العالمية، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، واللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري، والتابعة للأمم المتحدة، وكذلك منظمة العمل الدولية. هذه المنظمات لها قواعد عالمية وتشرف على القواعد المحلية لكل دولة لتنظيم العمل بالمواد المشعة لضمان السلامة للبيئة والإنسان.

تعتمد فلسفة الوقاية من الإشعاعات المؤينة على ثلاثة مبادئ وهي كالتالي:

1. **تبرير الاستخدام:** بمعنى أن تكون الفائدة المرجوة من استخدام الإشعاعات المؤينة للأفراد والمجتمع أكبر من الضرر المتسببة به في حالة استخدامها.
2. **الوضع الأمثل للوقاية من الإشعاع:** وهو خفض مقدار التعرض الإشعاعي إلى أقل مقدار يمكن بواسطته إنجاز العمل وتحقيق الهدف المرجو منه.

يتحقق هذا المبدأ من خلال وضع أفضل التصميمات للمختبرات التي يوجد بها استخدام للمصادر المشعة، وأجهزة الإشعاع للمعدات المستخدمة لإنتاج الأشعة المؤينة بحيث تعطي أكبر حماية ممكنة للعاملين والمرضى.

3. **حدود الجرعة:** وهي الحدود التي لا يجب مطلقاً وبأي حال من الأحوال أن يتم تجاوزها سواء للعاملين بالإشعاع أو المرضى الذين يتم فحصهم أو علاجهم باستخدام الإشعاع. والغرض الرئيسي من وضع هذه الحدود هو منع حدوث

التأثيرات الجسدية المحددة والمباشرة التي تنتج من التعرض لجرعات عالية دفعة واحدة، وكذلك منع حدوث التأثيرات الجسدية المحتمل حدوثها في المستقبل مثل الإصابة بمرض السرطان والأمراض الوراثية.

ولمنع حدوث التأثيرات الجسدية المحددة والمباشرة، فلقد تم وضع حد أقصى للتعرض الإشعاعي لا يجب تجاوزه أبداً وهو 20 مللي سيفرت لكل عام، وذلك للعاملين بالإشعاع، و1 ملي سيفرت لكل عام لعامة الناس، وذلك طبقاً لنشرة الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع الصادرة عام 1990م .

وبما أن المتأثرين من الإشعاع في المجال الطبي هم المرضى والعاملون فيه ، فإن تعليمات الوقاية من الإشعاع في هذا المجال تنطبق على هاتين الفئتين بالتخصيص وفيما يلي ملخص لهذه التعليمات:

تنقسم الوقاية من الإشعاع إلى قسمين رئيسيين هما، التعرض الخارجي والداخلي للإشعاع :

1. الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع:

تعتمد الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع على ثلاثة عوامل رئيسية وهي زمن التعرض للإشعاع ، والمسافة بين المصدر المشع والجسم البشري الذي يواجهه وأخيراً وجود حاجز مناسب بين المصدر المشع والجسم البشري. وفي هذه الحالة يكون مصدر الإشعاع معزولاً تماماً ولا يوجد أي احتمال لدخول المادة المشعة إلى داخل الجسم البشري (مثال أجهزة الأشعة السينية). وعليه فإنه بالإمكان تخفيض مقدار التعرض الإشعاعي الخارجي بعمل التالي:

أ. تقليل زمن التعرض الإشعاعي بين العامل أو المريض والمصدر المشع.

ب. زيادة المسافة بين المصدر المشع والمتعرض.

ج. استخدام درع (حاجز) واق مناسب بين المصدر المشع المتعرض.

2. الوقاية من التعرض الداخلي للإشعاع:

هنا يكون مصدر الإشعاع غير معزول وفي حالة سائلة أو صلبة أو حتى غازية، ويتم التعامل معه مباشرة، مما قد يتسبب في حدوث تلوث إشعاعي للجسم البشري

عن طريق دخول المادة المشعة أو جزء منها داخله عن طريق التنفس بالهواء الملوث إشعاعياً وبلع المادة المشعة، أو دخول المادة المشعة عن طريق جرح أو فتحة أو حقن في الجلد، وأخيراً تلوث الجلد بالمادة المشعة وعدم غسله مما يؤدي إلى تعرض الجلد للتشعيع المباشر.

إن التعرض الداخلي للإشعاع هو أشد خطورة من التعرض الخارجي وعواقبه أوخم ، ولذا فإن الوقاية من التعرض الداخلي للإشعاع قد بنيت على أساس منع حدوثه تماماً. هذا وقد تم تصنيف الأماكن التي تسمح بوجود المواد المشعة والتعامل معها إلى ثلاثة أصناف وهي (A,B,C) (التصنيف يعتمد على كمية المواد المشعة المستخدمة والحد الأقصى للنشاط الإشعاعي المسموح به لكل مادة). وفي المجال الطبي فإن المعامل المستخدمة للمواد المشعة هي من النوعين (B) (المعامل الحارة التي تقوم بإعداد المواد المشعة المخصصة لحقن المرضى) والنوع (C) (غرف تصوير المرضى باستخدام أجهزة الجاما كاميرا داخل أقسام الطب النووي بالمستشفيات ومختبرات الأبحاث التي تستخدم المواد المشعة على حيوانات التجارب وعلى الهرمونات أثناء عمل الفحوص المتعلّقة بها)، بينما يكون النوع (A) للمصانع التي تنتج الوقود النووي مثل المحطات النووية.

تعليمات الوقاية من التعرض الخارجي للإشعاع بالنسبة للعاملين في المجال الطبي المتعامل مع الإشعاع النووي:

- توضع أجهزة المسح الإشعاعي داخل غرف مصممة خصيصاً بحيث تكون ذات أبعاد معينة تكفي لتحقيق مبدأ زيادة المسافة بين مصدر الإشعاع والعاملين، وتكون سميكة الحوائط بما يكفي لمنع أي تسرب إشعاعي للخارج.
- يجب أن لا يقف العاملون بالتصوير بجوار جهاز الأشعة مباشرة، وإنما يكون هناك حاجز فاصل بين مكان انبعاث الإشعاع، وبين لوحة التحكم الكهربائية التي يقوم العاملون بتشغيل الجهاز منها. الحاجز يفضل أن يكون مرئياً حتى يسمح للعامل بالتوجيه والإرشاد للمريض.
- تحدد عدد ساعات العمل للعاملين في حدود الجرعة المسموح لهم التعرض لها، وإذا تم تجاوز الجرعة المسموح بها يمنح العامل إجازة مدفوعة الراتب للابتعاد عن محيط العمل وتعديل الجرعة التي تعرض لها.

- يلتزم جميع العاملين باستخدام وسائل قياس الجرعات الإشعاعية الشخصية.
- يجب توافر أساليب الحماية من التعرض للإشعاع (مثل الملابس المدرعة بالرصاص في غرفة التصوير الإشعاعي).
- يجب التأكد من عدم وجود أي تسرب إشعاعي من الجهاز أثناء تشغيله.
- يجب التذكير والتنبيه بوجود إشعاع في مكان ما عن طريق الملصقات التحذيرية.

الحماية من التعرض الإشعاعي الخارجي للمرضى:

لحماية المرضى الذين يتعرضون للفحص الإشعاعي، يجب اتباع التعليمات التالية:

- أن تخضع أجهزة التصوير الإشعاعي لعمليات الفحص الفني، واختبارات الجودة، وكفاءة التشغيل مما يضمن عملها على أفضل وجه ممكن.
- الحرص على أداء الفحص بكفاءة حتى لا يضطر المريض لتكراره، وبالتالي لا يتعرض المريض لإشعاع أكثر من المطلوب للتشخيص.
- يتم استخدام أفلام فوتوغرافية عالية الحساسية، ووسائل تحميض راقية، وذلك لضمان الحصول على أوضح تصوير ممكن.
- يتم تحديد المسافة المطلوب تصويرها بدقة مع تخفيض الجرعة الإشعاعية المعطاة لأقل قدر ممكن حتى نتجنب تعريض الجسم لجرعات إشعاعية أعلى من المطلوب.
- في حالة التصوير بالأشعة السينية مثلاً، يجب وضع دروع معينة على الأجزاء الحساسة غير المرغوب في تعريضها للإشعاع، واستخدام مرشحات مناسبة لامتصاص الأشعة السينية الزائدة.
- لا يتم عمل أي فحوص إشعاعية للنساء قبل السؤال عن موعد الدورة الشهرية والتأكد من وجود حمل أم لا، بحيث لا يتم إجراء الفحص إلا في الضرورة القصوى
- يجب أن يراعى ألا يتعرض المريض لجرعة إشعاعية أعلى من المحددة.

الحماية من التعرض الإشعاعي الداخلي للعاملين:

- يجب علـى العاملـين ارتداء الملابس الواقية، مثـل المعاطـف والقفازات والكمامات والأحذية الخاصة وعدم تداول المواد المشعة بالأيدي المجردة تحت أي ظرف.
- يجب وضع وسائل قياس الجرعـات الإشـعاعية الخاصة بالأفـراد (مثل مقياس الجرعـات الجيبـي، ومقيـاس الجرعـات الوميضـي الحراري، كما يتم تسجيل الجرعات للعاملين بواسطة الأجهزة الرقابية المختصة وعمل سجل جرعات لكل عامل يتسنى له الاطلاع عليه بصورة دورية أو متى ما طلب ذلك.
- لا يسمح بالأكل أو الشرب أو التدخين في الأماكن المرخص فيها باستخدام المواد المشعة.
- يجب استخدام الماصـة الميكانيكية لسـحب المواد المشـعة السائلة وعدم السماح بسحبها بواسطة الفم أو صبها في القوارير مباشرة .

الشكل (19): مقياس الجرعات الجيبي

- توخي الحرص الشديد في حالة وجود أي جروح مفتوحة، بحيث يتم الحرص على تغطيتها بالكامل وحمايتها من التلوث الإشعاعي.

- يجب أن تتوفر أجهزة المسح الإشعاعي داخل أماكن استخدام المواد المشعة، ويتم تدريب العاملين على استخدامها بكفاءة تحت إشراف مسؤول الوقاية الإشعاعية حتى يتم استخدامها إذا اقتضت الضرورة ذلك.
- يلزم وجود نظام تهوية جيد منفصل تماماً عن نظام التهوية الخاص بالمستشفى، كما يلزم وجود جهاز حجب الأبخرة في الأماكن التي يستخدم بها مواد مشعة متطايرة.
- يجب التأكد من وضع المحاقن التي تحتوي على المواد المشعة داخل حاويتين مغلقتين (أحدهما الدرع المستخدم أثناء الاستعمال، هو حماية للفني والطبيب معاً)، وذلك للتأكد من عدم حدوث أي تسرب إشعاعي في حال سقوط أو انكسار هذه المحاقن.
- يجب أن تجمع النفايات المشعة داخل حاويات مدرعة بالرصاص في أماكن معزولة عن جميع الأشخاص وتترك لمدة تساوي 10 أمثال زمن عمر النصف للمواد المشعة المستخدمة حتى يصل نشاطها الإشعاعي إلى 1024/1 مما كانت عليه، ثم يتم بعد ذلك نقلها والتخلص منها بطريقة آمنة تحت إشراف مسؤول الوقاية الإشعاعية.

الشكل (20): جهاز مسح إشعاعي

الحماية من التعرض الإشعاعي الداخلي للمرضى:

- يجب أن تخضع أجهزة التشخيص الإشعاعي لاختبارات الجودة وكفاءة التشغيل مما يضمن عملها على أفضل وجه ممكن، والحرص على صلاحية الأدوية المستخدمة وضبط كمية الأشعة فيها، والحرص على أداء الفحص بكفاءة حتى لا يضطر المريض لتكراره وبالتالي لا يتعرض المريض لإشعاع أكثر من المطلوب للتشخيص.
- يجب الالتزام بالجرعة المعطاة للمريض.
- الحرص على عدم وجود حالة حمل لأية سيدة تخضع للفحص النووي.
- الحرص على إعطاء المرضى تعليمات واضحة للفحص المراد عمله حتى لا يضطر المريض لإعادته لأي سبب كان وبالتالي تعريضه لجرعة إشعاعية هو في غنى عنها.
- في حالة حدوث تلوث إشعاعي لعامل أو مريض يتم التعامل معه حسب إرشادات مسؤول الوقاية الإشعاعية بالمستشفى أو المنشأة.

وحدات قياس مستوى الوقاية الإشعاعية:

هناك وحدتان تم تصميمهما لقياس مستوى التقدم في مجال الوقاية من الإشعاع ولمتابعة مدى ملائمة إجراءات السلامة الإشعاعية لخفض مقدار التعرض الإشعاعي لعامة الناس وللعاملين في مجالات الإشعاع الذري إلى الحدود الآمنة. وهاتان الوحدتان هما: متوسط الجرعة السنوية الفعالة، والجرعة الفعالة المجمعة، وفيما يلي شرح مبسط لهاتين الوحدتين.

متوسط الجرعة السنوية الفعالة:

هو عبارة عن متوسط حسابي لمقدار الجرعة الفعالة السنوية التي يتعرض لها العاملون في مجال ما (أقسام الطب النووي مثلاً) في دولة ما، حيث يتم جمع مقدار جميع الجرعات المسجلة للعاملين في القسم، ثم قسمتها على عدد العاملين أنفسهم. تعطي النتيجة دلالة قوية على مستوى الوقاية الإشعاعية في هذا المكان بالذات.

الجرعة الفعالة المجمعة:

هي عبارة عن متوسط الجرعة الفعالة السنوية مضروباً في عدد العاملين بمجال الإشعاع النووي. وتعطى هذه الوحدة دلالة لحجم الاستخدام للإشعاع النووي في دولة ما بجميع منشآتها أو مستشفياتها ومراكزها، وتزيد هذه النسبة كلما زاد مقدار الفحوص الطبية التي تستخدم الإشعاع الذري في عمله.

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
١٤٠٤ هـ
١٩٨٣م
ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

المراجـــع

websites:

- Elgazzer A: Concise guide to Nuclear Medicine. Springer, Berlin-New York, 2011
- International Commission on Radiological Protection 103. Recommendations of the ICRP. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 129, No. 4, PP.500-507, 2008.
- Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2007.
- Henkin RE: Nuclear Medicine, 2nd edition, Mosby, st.Louis, 2006.
- Directory of Cyclotrons Used for Radionuclide Production in member States. IAEA- DCRP/CD,2006 .
- Elgazzer A: Pathophysiologic Basis of Nuclear Medicine; Springer, Berlin – New York, second edition, 2006.
- International Atomic Energy Agency. Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standard Series No.SF-1,2006
- Nuclear Medicine Pioneer Hal O. Anger. Molecular imaging news. Society of nuclear medicine and molecular imaging. 10 November 2005.
- Cherry SR, Sorenson JA: Physics in Nuclear Medicine, Saunders, Philadelphia, 2003.
- Thrall J, Ziessman: The Requisites Nuclear Medicine, Mosby, St. Louis,2001.

المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
١٤٠٤ هـ
١٩٨٣م
ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

إصدارات المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية
الكتب الأساسية والمعاجم والقواميس والأطالس

1	ـ دليل الأطباء العرب (1)	إعداد: المركز
2	ـ التنمية الصحية (2)	تأليف: د. رمسيس عبد العليم جمعة
3	ـ نظم وخدمات المعلومات الطبية (3)	تأليف: د. شوقي سالم وآخرين
4	ـ السرطان المهني (4)	تأليف: د. جاسم كاظم العجزان
5	ـ القانون وعلاج الأشخاص المعولين على المخدرات والمسكرات (دراسة مقارنة للقوانين السارية) (5)	تأليف: د.ك. بورتر وآخرين ترجمة: المركز
6	ـ الدور العربي في منظمة الصحة العالمية (6)	إعداد: الأمانة الفنية لمجلس وزراء الصحة لعرب
7	ـ دليل قرارات المكتب التنفيذي لمجلس وزراء الصحة العرب (7)	إعداد: الأمانة الفنية لمجلس وزراء الصحة لعرب
8	ـ الموجز الإرشادي عن الأمراض التي تنتقل عن طريق الاتصال الجنسي (8)	تأليف: د. نيكول ثين ترجمة: د. إبراهيم القشلان
9	ـ السرطان: أنواعه ـ أسبابه ـ تشخيصه طرق العلاج والوقاية منه (9)	تأليف: د. عبدالفتاح عطا الله
10	ـ دليل المستشفيات والمراكز العلاجية في الوطن العربي (10)	إعداد: المركز
11	ـ زرع الأعضاء بين الحاضر والمستقبل (11)	تأليف: د. عبدالفتاح عطا الله
12	ـ الموجز الإرشادي عن الممارسة الطبية العامة (12)	تأليف: كونراد. م. هاريس ترجمة: د.عدنان تكريتي
13	ـ الموجز الإرشادي عن الطب المهني (13)	تأليف: د. هـ.أ. والدرون ترجمة: د. محمد حازم غالب
14	ـ الموجز الإرشادي عن التاريخ المرضي والفحص السريري (15)	تأليف: روبرت تيرنر ترجمة: د. إبراهيم الصياد
15	ـ الموجز الإرشادي عن التخدير (16)	تأليف: د. ج.ن. لون ترجمة: د. سامي حسين
16	ـ الموجز الإرشادي عن أمراض العظام والكسور (17)	تأليف: ت. دكوورث ترجمة: د. محمد سالم

17 ـ الموجز الإرشادي عن الغدد الصماء (18)	تأليف: د. ر.ف.فلتشر ترجمة: د.نصر الدين محمود
18 ـ دليل طريقة التصوير الشعاعي (19)	تأليف: د. ت. هولم وآخرين ترجمة: المركز ومنظمة الصحة العالمية
19 ـ دليل الممارس العام لقراءة الصور الشعاعية (20)	تحرير: د. ب.م.س بالمر وآخرين ترجمة: المركز ومنظمة الصحة العالمية
20 ـ التسمية الدولية للأمراض (مجلس المنظمات الدولية للعلوم الطبية) المجلد 2 الجزء 3 الأمراض المعدية (22)	ترجمة: المركز ومنظمة الصحة العالمية
21 ـ الداء السكري لدى الطفل (23)	تأليف: د. مصطفى خياطي ترجمة: د. مروان القنواتي
22 ـ الأدوية النفسانية التأثير: تحسين ممارسات الوصف (24)	تحرير: د. عبدالحميد قدس ود. عنايت خان
23 ـ التعليم الصحي المستمر للعاملين في الحقل الصحي : دليل ورشة العمل (25)	تحرير: د. ف.ر.أ بات ود. أ. ميخيا ترجمة: المركز ومنظمة الصحة العالمية
24 ـ التخدير في مستشفى المنطقة (26)	تأليف: د. مايكل ب. دوبسون ترجمة: د. برهان العابد مراجعة: د. هيثم الخياط
25 ـ الموجز الإرشادي عن الطب الشرعي (27)	تأليف: د.ج.جي ترجمة: د. عاطف بدوي
26 ـ الطب التقليدي والرعاية الصحية (28)	تأليف: د. روبرت هـ. باترمان وآخرين ترجمة: د.نزيه الحكيم مراجعة: أ. عدنان يازجي
27 ـ أدوية الأطفال (29)	تأليف: د.ن.د بارنز وآخرين ترجمة: د. لبيبة الخردجي مراجعة: د. هيثم الخياط
28 ـ الموجز الإرشادي عن أمراض العين (30)	تأليف: د. ب.د. تريفر ـ روبر ترجمة: د. عبدالرزاق السامرائي
29 ـ التشخيص الجراحي (31)	تأليف د. محمد عبداللطيف إبراهيم
30 ـ تقنية المعلومات الصحية (واقع واستخدامات تقنية واتصالات المعلومات البعدية في المجالات الصحية)(32)	ترجمة: د. شوقي سالم

31 ـ الموجز الإرشادي عن طب التوليد (33)	تأليف: د. جفري شامبر لين ترجمة: د. حافظ والي
32 ـ تدريس الإحصاء الصحي (عشرون مخططاً تمهيدياً لدروس وحلقات دراسية) (34)	تحرير: س.ك. لوانجا وتشو ـ يوك تي ترجمة: د. عصمت إبراهيم حمود مراجعة: د. عبدالمنعم محمد علي
33 ـ الموجز الإرشادي عن أمراض الأنف والأذن والحنجرة (35)	تأليف: د. ب.د. بول ترجمة: د. زهير عبدالوهاب
34 ـ علم الأجنة السريري (37)	تأليف: د. ريتشارد سنل ترجمة: د. طليع بشور
35 ـ التشريح السريري (38)	تأليف: د. ريتشارد سنل ترجمة: د. محمد أحمد سليمان
36 ـ طب الاسنان الجنائي (39)	تأليف: د. صاحب القطان
37 ـ أطلس أمراض العين في الدول العربية سلسلة الأطالس الطبية (40)	تأليف: د.أحمد الجمل ود. عبداللطيف صيام
38 ـ الموجز الإرشادي عن أمراض النساء (41)	تأليف: جوزفين بارنز ترجمة: د. حافظ والي
39 ـ التسمية التشريحية (قاموس تشريح) (42)	ترجمة: د. حافظ والي
40 ـ الموجز الإرشادي عن توازن السوائل والكهارل (43)	تأليف: د. شيلا ويللاتس ترجمة: د. حسن العوضي
41 ـ الموجز الإرشادي عن المسالك البولية (44)	تأليف: د. جون بلاندي ترجمة: د. محيي الدين صدقي
42 ـ الموجز الإرشادي عن الأمراض النفسية (45)	تأليف: د. جيمس و د. يليس و ج.م. ماركس ترجمة: د.محمد عماد فضلي
43 ـ دليل الطالب في أمراض العظام والكسور سلسلة المناهج الطبية (46)	تأليف: د. فرانك ألويسيو وآخرين ترجمة: د. أحمد ذياب وآخرين
44 ـ دليل المؤسسات التعليمية والبحثية الصحية في الوطن العربي ـ 3 أجزاء (47)	إعداد: المركز
45 ـ التدرن السريري (48)	تأليف: البروفيسور سير جون كروفتن وآخرين ترجمة: د. محمد علي شعبان
46 ـ مدخل إلى الآنثروبولوجيا البيولوجية (49)	تأليف: د. علي عبدالعزيز النفيلي
47 ـ الموجز الإرشادي عن التشريح (50)	تأليف: د. دي.بي. موفات ترجمة: د. محمد توفيق الرخاوي

48 ـ الموجز الإرشادي عن الطب السريري (51)	تأليف: د. ديڤيد روبنشتين و د. ديڤيد وين
	ترجمة: د. بيومي السباعي
49 ـ الموجز الإرشادي عن	تأليف: د. باري هانكوك و د.ج ديڤيد برادشو
علم الأورام السريري (52)	ترجمة: د. خالد أحمد الصالح
50 ـ معجم الاختصارات الطبية (53)	إعداد: المركز
51 ـ الموجز الإرشادي عن طب القلب	تأليف: د. ج. فليمنج وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (55)	ترجمة: د. عاطف أحمد بدوي
52 ـ الهستولوجيا الوظيفية	تأليف: د. م. بوريسنكو و د. ت. بورينجر
سلسلة المناهج الطبية (56)	ترجمة: أ. عدنان اليازجي
53 ـ المفاهيم الأساسية في علم الأدوية	تأليف: د. جانيت سترينجر
سلسلة المناهج الطبية (57)	ترجمة: د. عادل نوفل
54 ـ المرجع في الأمراض الجلدية	تأليف: د. صالح داود و د. عبدالرحمن قادري
سلسلة المناهج الطبية (58)	
55 ـ أطلس الأمراض الجلدية	تأليف: د. جيفري كالين وآخرين
سلسلة الأطالس الطبية (59)	ترجمة: د. حجاب العجمي
56 ـ معجم مصطلحات الطب النفسي	إعداد: د. لطفي الشربيني
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (60)	مراجعة: د. عادل صادق
57 ـ أساسيات طب الأعصاب	تأليف: د. إ.م.س. ولكنسون
سلسلة المناهج الطبية (61)	ترجمة: د. لطفي الشربيني، و د. هشام الحناوي
58 ـ معجم مصطلحات علم الأشعة والأورام	إعداد: د. ضياء الدين الجماس وآخرين
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (62)	مراجعة وتحرير: مركز تعريب العلوم الصحية
59 ـ علم الطفيليات الطبية	تأليف: د. و. بيك، ود. ج. ديڤيز
سلسلة المناهج الطبية (63)	ترجمة: د. محمد خير الحلبي
60 ـ الموجز الإرشادي عن فيزيولوجيا الإنسان	تحرير: د. جون براي وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (64)	ترجمة: د. سامح السباعي
61 ـ أساسيات علم الوراثيات الطبية	تأليف: د. مايكل كونور
سلسلة المناهج الطبية (65)	ترجمة: د. سيد الحديدي
62 ـ معجم مصطلحات أمراض النساء والتوليد	إعداد: د. محمد حجازي وآخرين
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (66)	تحرير: مركز تعريب العلوم الصحية
63 ـ أساسيات علم المناعة الطبية	تأليف: د.هيلين شابل وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (67)	ترجمة: د. نائل بازركان
64 ـ معجم مصطلحات الباثولوجيا والمختبرات	إعداد: د. سيد الحديدي وآخرين
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (68)	تحرير: مركز تعريب العلوم الصحية

65 ـ أطلس الهستولوجيا سلسلة الأطالس الطبية (69)	تأليف: د. شو ـ زين زانج ترجمة: د. عبد المنعم الباز وآخرين مراجعة: مركز تعريب العلوم الصحية
66 ـ أمراض جهاز التنفس سلسلة المناهج الطبية (70)	تأليف: د. محمود باكير، د. محمد المسالمة د. محمد المميز، د. هيام الريس
67 ـ أساسيات طب الجهاز الهضمي (جزءان) سلسلة المناهج الطبية (71)	تأليف: د.ت. يامادا وآخرين ترجمة: د. حسين عبدالحميد وآخرين
68 ـ الميكروبيولوجيا الطبية (جزءان) سلسلة المناهج الطبية (72)	تأليف: د. جيو بروكس وآخرين ترجمة: د. عبد الحميد عطية وآخرين
69 ـ طب الأطفال وصحة الطفل سلسلة المناهج الطبية (73)	تأليف: د. ماري رودلف، د. مالكوم ليڤين ترجمة: د. حاتم موسى أبو ضيف وآخرين
70 ـ الموجز الإرشادي عن الباثولوجيا (جزءان) سلسلة المناهج الطبية (74)	تأليف: د.أ.د. تومسون، د.ر.إ. كوتون ترجمة: د. حافظ والي
71 ـ طب العائلة سلسلة المناهج الطبية (75)	تأليف: د. ناصر بوكلي حسن
72 ـ الطبيب، أخلاق ومسؤولية سلسلة الكتب الطبية (76)	تأليف: د. محمد خالد المشعان
73 ـ هاربرز في الكيمياء الحيوية (3 أجزاء) سلسلة المناهج الطبية (77)	تأليف: د. روبرت موراي وآخرين ترجمة: د. عماد أبو عسلي ود. يوسف بركات
74 ـ أطلس أمراض الفم سلسلة الأطالس الطبية (78)	تأليف: د. كريسبيان سكولي وآخـرين ترجمة: د. صاحـب القطـان
75 ـ الموجز الإرشادي عن علم الاجتماع الطبي سلسلة المناهج الطبية (79)	تأليف: د. ديڤيد هاناي ترجمة: د. حسن العوضي
76 ـ دليل المراجعة في أمراض النساء والتوليد سلسلة المناهج الطبية (80)	تأليف: د. إيرول نورويتز ترجمة: د. فرحان كوجان
77 ـ دليل المراجعة في أمراض الكلى سلسلة المناهج الطبية (81)	تأليف: د. كريس كالاهان و د. باري برونر ترجمة: د. أحمد أبو اليسر
78 ـ دليل المراجعة في الكيمياء الحيوية سلسلة المناهج الطبية (82)	تأليف: د.بن جرينشتاين و د.آدم جرينشتاين ترجمة: د. يوسف بركات
79 ـ أساسيات علم الدمويات سلسلة المناهج الطبية (83)	تأليف: د.ڤ. هوفبراند وآخـرين ترجمة: د. سعد الدين جاويش وآخـرين
80 ـ الموجز الإرشادي عن طب العيون سلسلة المناهج الطبية (84)	تأليف: د. بروس جيمس ترجمة: د. سرى سبع العيش

81 ـ مبادئ نقص الخصوبة	تأليف: د. بيتر برود و د. أليسون تايلور
سلسلة المناهج الطبية (85)	ترجمة: د. وائل صبح و د. إسلام أحمد حسن
82 ـ دليل المراجعة في الجهاز الهضمي	تأليف: د. سانيش كاشاف
سلسلة المناهج الطبية (86)	ترجمة: د. يوسف بركات
83 ـ الجراحة الإكلينيكية	تأليف: د. ألفريد كوشيري وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (87)	ترجمة: د. بشير الجراح وآخرين
84 ـ دليل المراجعة في الجهاز القلبي الوعائي	تأليف: د. فيليب آرونسون
سلسلة المناهج الطبية (88)	ترجمة: د. محمد حجازي
85 ـ دليل المراجعة في المكروبيولوجيا	تأليف: د. ستيفن جليسبي و د. كاترين بامفورد
سلسلة المناهج الطبية (89)	ترجمة: د. وائل محمد صبح
86 ـ مبادئ طب الروماتزم	تأليف: د. ميشيل سناث
سلسلة المناهج الطبية (90)	ترجمة: د. محمود الناقة
87 ـ علم الغدد الصماء الأساسي والإكلينيكي	تأليف: فرنسيس جرينسبان و ديڤيد جاردنر
سلسلة المناهج الطبية (91)	ترجمة: د. أكرم حنفي وآخرين
88 ـ أطلس الوراثيات	تأليف: د. إبرهارد باسرج وآخرين
سلسلة الأطالس الطبية (92)	ترجمة: د. وائل صبح وآخرين
89 ـ دليل المراجعة في العلوم العصبية	تأليف: د. روجر باركر وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (93)	ترجمة: د. لطفي الشربيني
90 ـ معجم مصطلحات أمراض الفم والأسنان	إعداد: د. فتحي عبدالمجيد وفا
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (94)	مراجعة: د. محمد فؤاد الذاكري وآخرين
91 ـ الإحصاء الطبي	تأليف: د. جينيفير بيت وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (95)	ترجمة: د. نائل عبدالقادر وآخرين
92 ـ إعاقات التعلم لدى الأطفال	تأليف: د. بيتر بيرك و د. كاتي سيجنو
سلسلة المناهج الطبية (96)	ترجمة: د. عبدالمنعم الباز و أ. سميرة مرجان
93 ـ السرطانات النسائية	تأليف: د. أحمد راغب
سلسلة المناهج الطبية (97)	تحرير: مركز تعريب العلوم الصحية
94 ـ معجم مصطلحات جراحة العظام والتأهيل	إعداد: د. عبدالرزاق سري السباعي وآخرين
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (98)	مراجعة: د. أحمد ذياب وآخرين
95 ـ التفاعلات الضائرة للغذاء	إعداد: د. جودث بيترس
سلسلة المناهج الطبية (99)	ترجمة: د. طه قمصاني و د. خالد مدني
96 ـ دليل المراجعة في الجراحة	تأليف: د. بيرس جراس و د. نيل بورلي
سلسلة المناهج الطبية (100)	ترجمة: د. طالب الحلبي

97 ـ الطب النفسي عند الأطفال	تأليف: د. روبرت جودمان و د. ستيفن سّكوت
سلسلة المناهج الطبية (101)	ترجمة: د. لطفي الشربيني و د. حنان طقش
98 ـ مبادئ نقص الخصوبة (ثنائي اللغة)	تأليف: د. بيتر برود
سلسلة المناهج الطبية (102)	ترجمة: د. وائل صبح وآخرين
99 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح
(الإصـدار الأول حرف A)	إشراف: د. عبدالرحمن عبدالله العوضي
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (103)	
100 ـ دليل المراجعة في التاريخ المرضي	تأليف: د. جونثـان جليـادل
والفحص الإكلينيكي	ترجمة: د. محمود الناقة و د. عبدالرزاق السباعي
سلسلة المناهج الطبية (104)	
101 ـ الأساسيات العامة ـ طب الأطفال	تأليف: د. جوديث سوندهايمر
سلسلة المناهج الطبية (105)	ترجمة: د. أحمد فرج الحسانين وآخـرين
102 ـ دليـل الاختبـارات المعمليـة	تأليف: د.دنيس ويلسون
والفحوصات التشخيصية	ترجمة: د. سيد الحديدي وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (106)	
103 ـ التغيـرات العالمية والصحة	تحـرير: د. كيلي لي و چيف كولين
سلسلة المناهج الطبية (107)	ترجمة: د. محمد براء الجندي
104 ـ التعرض الأولي	تأليف: د. تشارلز جريفيث وآخرين
الطب الباطني: طب المستشفيات	ترجمة: د. عبدالناصر كعدان وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (108)	
105 ـ مكافحة الأمراض السارية	تحـرير: د. نورمان نوح
سلسلة المناهج الطبية (109)	ترجمة: د. عبدالرحمن لطفي عبدالرحمن
106 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح
(الإصـدار الأول حرف B)	إشراف: د. عبدالرحمن عبدالله العوضي
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (B)	
107 ـ علم النفس للممرضات ومهنيي	تأليف: د. جين ولكر وآخرين
الرعاية الصحية	ترجمة: د. سميرة ياقوت وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (110)	
108 ـ التشريح العصبي (نص وأطلس)	تأليف: د. چون هـ ـ مارتن
سلسلة الأطالس الطبية العربية (111)	ترجمة: د.حافظ والي وآخرين

109 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح
(الإصـدار الأول حرف C)	إشراف: د. عبدالرحمن عبدالله العوضي
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (C)	
110 ـ السرطان والتدبير العلاجي	تأليف: روبرت سوهامي ـ جيفري توبياس
سلسلة المناهج الطبية (112)	ترجمة: د. حسام خلف وآخرين
111 ـ التشخيص والمعالجة الحالية:	تحرير: د. جيفري د.كلوسنر وآخرين
الأمراض المنقولة جنسياً	ترجمة: د. حسام خلف وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (113)	
112 ـ الأمراض العدوائية .. قسم الطوارئ ـ	تحرير: د. إلين م.سلاڤين وآخرين
التشخيص والتدبير العلاجي	ترجمة: د. ضياء الدين الجماس وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (114)	
113 ـ أسس الرعاية الطارئة	تحرير: د. كليف ايڤانز وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (115)	ترجمة: د. جمال جودة وآخرين
114 ـ الصحة العامة للقرن الحادي والعشرين	تحرير: د. جودي أورم وآخرين
آفاق جديدة للسياسة والمشاركة والممارسة	ترجمة:د. حسناء حمدي وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (116)	
115 ـ الدقيقة الأخيرة ـ طب الطوارئ	تحرير: د. ماري جو واجنر وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (117)	ترجمة: د. ناصر بوكلي حسن وآخرين
116 ـ فهم الصحة العالمية	تحرير: د. وليام هـ . ماركال وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (118)	ترجمة: د. جاكلين ولسن وآخرين
117 ـ التدبير العلاجي لألم السرطان	تأليف: د. مايكل فيسك و د. ألين برتون
سلسلة المناهج الطبية (119)	ترجمة: د.أحمد راغب و د. هشام الوكيل
118 ـ التشخيص والمعالجة الحالية ـ طب الروماتزم ـ	تأليف: د. جون إمبودن وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (120)	ترجمة: د. محمود الناقة وآخرين

119 ـ التشخيص والمعالجة الحالية ـ الطب الرياضي	تحرير: د. باتريك ماكموهون
سلسلة المناهج الطبية (121)	ترجمة: د. طالب الحلبي و د. نائل بازركان
120 ـ السياسة الاجتماعية للممرضات والمهن المساعدة	تأليف: د. ستيفن بيكهام و د.ليز ميرابياو
سلسلة المناهج الطبية (122)	ترجمة: د. لطفي عبد العزيز الشربيني وآخرين
121 ـ التسمم وجرعة الدواء المفرطة	تحرير: د. كينت أولسون وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (123)	ترجمة: د. عادل نوفل وآخرين
122 ـ الأرجية والربو	تحرير: د. مسعود محمدي
«التشخيص العملي والتدبير العلاجي»	ترجمة: د. محمود باكير وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (124)	
123 ـ دليل أمراض الكبد	تحرير: د. لورانس فريدمان و د. أميت كييفي
سلسلة المناهج الطبية (125)	ترجمة: د. عبد الرزاق السباعي وآخرين
124 ـ الفيزيولوجيا التنفسية	تأليف: د. ميشيل م. كلوتير
سلسلة المناهج الطبية (126)	ترجمة: د. محمود باكير وآخرين
125 ـ البيولوجيا الخلوية الطبية	تأليف: روبرت نورمان و ديڤيد لودويك
سلسلة المناهج الطبية (127)	ترجمة: د. عماد أبوعسلي و د. رانيا توما
126 ـ الفيزيولوجيا الخلوية	تأليف: د. موروديكاي بلوشتاين وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (128)	ترجمة: د. نائل بازركان
127 ـ تطبيقات علم الاجتماع الطبي	تحرير: د. جراهام سكامبلر
سلسلة المناهج الطبية (129)	ترجمة: د. أحمد ديب دشاش
128 ـ طب نقل الدم	تأليف: د. جيفري ماكولف
سلسلة المناهج الطبية (130)	ترجمة: د. سيد الحديدي وآخرين
129 ـ الفيزيولوجيا الكلوية	تأليف: د.بروس كوبن وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (131)	ترجمة: د. محمد بركات

130 ـ الرعاية الشاملة للحروق	تأليف: د. ديڤيد هيرنادون
سلسلة المناهج الطبية (132)	ترجمة: د. حسام الدين خلف وآخرين
131 ـ سلامة المريض ـ بحوث الممارسة	تحرير: د. كيرين ولش و د. روث بودن
سلسلة المناهج الطبية (133)	ترجمة: د. تيسير العاصي
132 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح
(الإصدار الأول حرف D)	إشراف: د. عبدالرحمن عبدالله العوضي
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (D)	
133 ـ طب السفر	تحرير: د. جاي كايستون وآخرين
سلسلة المناهج الطبية (134)	ترجمة: د.عادل نوفل وآخرين
134 ـ زرع الأعضاء	تحرير: د. جون فورسيث
دليل للممارسة الجراحية التخصصية	ترجمة:د. عبد الرزاق السباعي
سلسلة المناهج الطبية (135)	د. أحمد طالب الحلبي
135 ـ إصابات الأسلحة النارية في الطب الشرعي	تأليف: د. محمد عصام الشيخ
سلسلة المناهج الطبية (136)	
136 ـ «ليڤين وأونيل» القدم السكري	تأليف: د. جون بوكر و مايكل فايڤر
سلسلة المناهج الطبية (137)	ترجمة:د. أشرف رمسيس وآخرين
137 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح
(الإصدار الأول حرف E)	إشراف: د. عبدالرحمن عبد الله العوضي
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (E)	
138 ـ معجم تصحيح البصر وعلوم الإبصار	تأليف: د. ميشيل ميلودوت
سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (138)	ترجمة: د. سُرى سبع العيش
	و د. جمال إبراهيم المرجان

139 ـ معجم «بيلير» للممرضين والممرضات والعاملين في مجال الرعايـة الصحيـة سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (139)	تأليف: د. باربرا ـ ف. ويللر ترجمة: د. طالب الحلبي وآخرين
140 ـ علم أعصاب النوم سلسلة المناهج الطبية (140)	تأليف: د. روبرت ستيكجولد و ماثوي والكر ترجمة: د. عبير محمد عدس و د. نيرمين سمير شنودة
141 ـ كيف يعمل الدواء «علم الأدوية الأساسي لمهنيي الرعاية الصحية» سلسلة المناهج الطبية (141)	تأليف: د. هيو مكجافوك ترجمة: د. دينا محمد صبري
142 ـ مشكلات التغذية لدى الأطفال «دليل عملي» سلسلة المناهج الطبية (142)	تحرير: أنجيلا ساوثال وكلاريسا مارتن ترجمة: د. خالد المدني وآخرين
143 ـ المعجم المفسر للطب والعلوم الصحية (الإصدار الأول حرف F) سلسلة المعاجم الطبية المتخصصة (F)	إعداد: د. يعقوب أحمد الشراح إشراف: د. عبدالرحمن عبدالله العوضي
144 ـ المرض العقلي الخطيـر ـ الأساليب المتمركزة على الشخص سلسلة المناهج الطبية (143)	تحرير: إبراهام رودنيك وديفيد روي ترجمة: د. محمد صبري سليط
145 ـ المنهج الطبي المتكامل سلسلة المناهج الطبية (144)	تأليف: راجا باندارانا ياكي ترجمة: د. جاكلين ولسن

146 ـ فقد الحمل	تأليف: جانيتا بنسيولا
«الدليل إلى ما يمكن أن يوفره	ترجمة: د. محمد جابر صدقي
كل من الطب المكمل والبديل»	
سلسلة المناهج الطبية (145)	
147 ـ الألم والمعاناة والمداواة	تحرير: بيتر ويميس جورمان
«الاستبصار والفهم»	ترجمة: د. هشام الوكيل
سلسلة المناهج الطبية (146)	
148 ـ الممارسة الإدارية والقيادة للأطباء	تأليف: جون واتيس و ستيفن كوران
سلسلة المناهج الطبية (147)	ترجمة: د. طارق حمزه عبد الرؤوف
149 ـ الأمراض الجلدية لدى المسنين	تأليف: كولبي كريغ إيفانز و ويتني هاي
سلسلة الأطالس الطبية العربية (148)	ترجمة: د. تيسير كايد العاصي
150 ـ طبيعة ووظائف الأحلام	تأليف: د. أرنست هارتمان
سلسلة المناهج الطبية (149)	ترجمة: د. تيسير كايد العاصي
151 ـ تاريخ الطب العربي	تأليف: د. محمد جابر صدقي
سلسلة المناهج الطبية (150)	
152 ـ عوائد المعرفة والصحة العامة	تأليف: د. يعقوب أحمد الشراح
سلسلة المناهج الطبية (151)	
153 ـ الإنسان واستدامة البيئة	تأليف: د. يعقوب أحمد الشراح
سلسلة المناهج الطبية (152)	
154 ـ كيف تؤثر الجينات على السلوك	تأليف: جوناثان فلنت و رالف غرينسبان
سلسلة المناهج الطبية (153)	و كينيث كندلر
	ترجمة: د. علي عبد العزيز النفيلي
	و د. إسراء عبد السلام بشر
155 ـ التمريض للصحة العامة	تحرير: بول لينسلي و روزلين كين وسارة أوين
التعزيز والمبادئ والممارسة	ترجمة: د. أشرف إبراهيم سليم
سلسلة المناهج الطبية (154)	
156 ـ مدخل إلى الاقتصاد الصحي	تحرير: لورنا جينيس و فيرجينيا وايزمان
سلسلة المناهج الطبية (155)	ترجمة: د. سارة سيد الحارتي وآخرين

157 ـ تمريض كبار السن سلسلة المناهج الطبية (156)	تحرير: جان ريد وشارلوت كلارك وآن ماكفارلين ترجمة: د. تيسير كايد عاصي و د. محمود علي الزغبي
158 ـ تمريض الحالات الحادة للبالغين كتاب حالات مرضية سلسلة المناهج الطبية (157)	تحرير: كارين باج و أيدين مكيني ترجمة: د. عبد المنعم محمد عطوه و د. عماد حسان الصادق
159 ـ النظم الصحية والصحة والثروة والرفاهية الاجتماعية «تقييم الحالة للاستثمار في النظم الصحية» سلسلة المناهج الطبية (158)	تحرير: جوسيب فيجويراس و مارتن ماكي ترجمة: د. تيسير كايد عاصي وآخرين
160 ـ الدليل العملي لرعاية مريض الخرف سلسلة المناهج الطبية (159)	تأليف: غاري موريس و جاك موريس ترجمة: د. عبير محمد عدس
161 ـ تعرّف على ما تأكل كيف تتناول الطعام دون قلق؟ سلسلة المناهج الطبية (160)	تأليف: جوليا بوكروبد ترجمة: د. إيهاب عبد الغني عبد الله
162 ـ العلة والصحة النفسية في علم الاجتماع سلسلة المناهج الطبية (161)	تأليف: آن روجرز و ديفيد بلجريم ترجمة: د. تيسير عاصي و د. محمد صدقي د. سعد شبير
163 ـ تعايش صغار السن مع السرطان مقتضيات للسياسة والممارسة سلسلة المناهج الطبية (162)	تأليف: آن جرينيار ترجمة: د. تيسير كايد عاصي
164 ـ مقالات في قضايا الصحة والبيئة سلسلة المناهج الطبية (163)	إعداد: مجموعة من الأطباء والمختصين
165 ـ الخدمة الاجتماعية وتعاطي المخدرات سلسلة المناهج الطبية (164)	تأليف: إيان بايلور و فيونا مشعام و هيوج أشير ترجمة: د. دينا محمد صبري
166 ـ أسس الممارسة الطبية المساندة رؤية نظرية سلسلة المناهج الطبية (165)	تحرير: آمندا بلابر ترجمة: د. صالح أحمد ليري و د. أشرف إبراهيم سليم
167 ـ الصحة البيئية سلسلة المناهج الطبية (166)	تأليف: ديد موللر ترجمة: د. حسام عبد الفتاح صديق
168 ـ الطب النووي سلسلة المناهج الطبية (167)	تأليف: د. إيمان مطر الشمري د. جيهان مطر الشمري

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE (ACMLS)

The Arab Center for Authorship and Translation of Health Science (ACMLS) is an Arab regional organization established in 1980 and derived from the Council of Arab Ministers of Public Health, the Arab League and its permanent headquarters is in Kuwait.

ACMLS has the following objectives:

- Provision of scientific & practical methods for teaching the medical sciences in the Arab World.
- Exchange of knowledge, sciences, information and researches between Arab and other cultures in all medical health fields.
- Promotion & encouragement of authorship and translation in Arabic language in the fields of health sciences.
- The issuing of periodicals, medical literature and the main tools for building the Arabic medical information infrastructure.
- Surveying, collecting, organizing of Arabic medical literature to build a current bibliographic data base.
- Translation of medical researches into Arabic Language.
- Building of Arabic medical curricula to serve medical and science Institutions and Colleges.

ACMLS consists of a board of trustees supervising ACMLS general secretariate and its four main departments. ACMLS is concerned with preparing integrated plans for Arab authorship & translation in medical fields, such as directories, encyclopeadias, dictionaries, essential surveys, aimed at building the Arab medical information infrastructure.

ACMLS is responsible for disseminating the main information services for the Arab medical literature.

© COPYRIGHT - 2016
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE
ISBN: 978-99966-34-96-3

All Rights Reserved, No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means; electronic, mechanical, photocopying, or otherwise, without the prior written permission of the Publisher.

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE
(ACMLS - KUWAIT)

P.O. Box 5225, Safat 13053, Kuwait

Tel. : + (965) 25338610/5338611
Fax. : + (965) 25338618/5338619

E-Mail: acmls@acmls.org
http:// www.acmls.org

Printed and Bound in the State of Kuwait.

ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION
OF HEALTH SCIENCE (ACMLS)
KUWAIT

Nuclear Medicine

By

Dr. Eman Matter EL - Shemary
Dr. Jehan Matter EL - Shemary

Revised & Edited by

Arab Center for Authorship and Translation of Health Science

ARABIC MEDICAL CURRICULA SERIES