

الفيزياء الطبية

Medical Physics



يُعدّ التشخيص بالأشعة والأمواج من أهم التقنيات العلمية التي شهدها الطب في القرن العشرين، والتي ساعدت في الكشف عن العديد من الأمراض في مراحلها الأولية، مما كان له أثراً إيجابية في معالجتها. وتتطور أساليب ووسائل الكشف عن الأمراض تبعاً لتطور التكنولوجيا التي فتحت آفاقاً جديدة في أساليب الكشف عن الأمراض، وسوف نتعرف في هذا الفصل بعض الأساليب الحديثة، وعلى وجه الخصوص الاستخدامات الطبية للأشعة السينية (X-rays)، فما الأشعة؟ وما طبيعتها؟ وكيف يمكن إنتاجها؟ وهل هناك استخدامات أخرى لها؟ وما أنواع الأشعة الأخرى التي تستخدم لفحص الجسم؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف كيفية إنتاج الأشعة السينية.
٢. تبين كيفية تكوين صورة بالأشعة السينية.
٣. توضح كيف يتم التصوير الطبقي واستخداماته.
٤. تحدد صفات العناصر المشعة المستخدمة في التشخيص.
٥. تتعرف مبدأ عمل كاميرا أنجر وكيف تستخدم في التصوير.
٦. تتعرف استخدام الأمواج فوق الصوتية في التشخيص.
٧. تميز بين بعض أنواع الإشعاعات واستخداماتها.

١-١ إنتاج الأشعة السينية (x-rays)



العالم الألماني رونتنجن



الشكل (١): صورة بالأشعة السينية أخذها رونتنجن ليد زوجته

لكي نتعرف كيفية التشخيص بالأشعة، فإنه يتوجب عليك أولاً أن تعرف كيف تنتج الأشعة السينية، وكيف تتفاعل هذه الأشعة مع المواد، وكيف يتم امتصاصها في المواد، وكيفية إنتاج صورة سينية جيدة.

اكتشف العالم الألماني رونتنجن W.C. Roentgen الأشعة السينية في خريف عام ١٨٩٥ أثناء دراسته للأشعة المهبطية في المختبر، حيث لاحظ عند تسليط فرق جهد كبير عبر الأنبوب المهبطي (CRT) تولد نوع من الأشعة قادرة على النفاذ خلال الأجسام الصلبة. وبعد فترة وجيزة استطاع رونتنجن أن يحصل على أول صورة إشعاعية ليد زوجته، انظر الشكل (١)، وخلال عدة أشهر انتشر الاستخدام الطبي للأشعة السينية في أنحاء العالم.

تتألف العناصر الأساسية في جهاز إنتاج الأشعة السينية الحديث من:

١. مصدر أو باعث للإلكترونات (مهبط)

٢. أنبوبة مفرغة من الهواء.

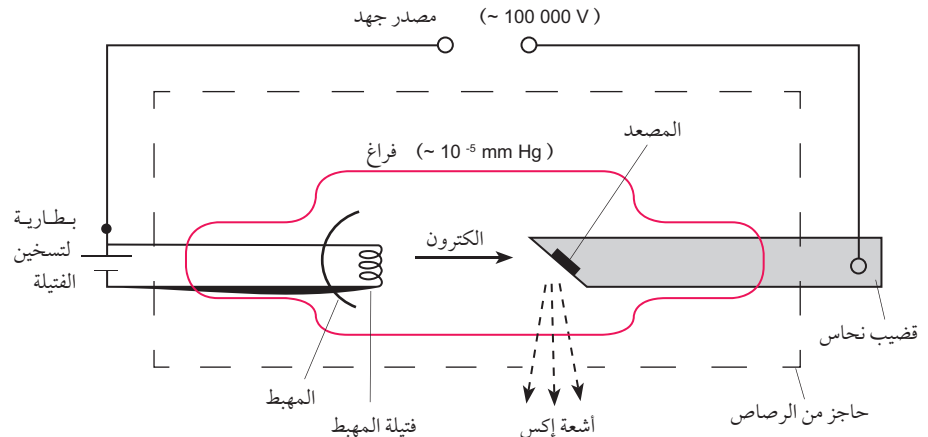
٣. مصدر فرق جهد موجب لتسريع الإلكترونات.

٤. مصعد من مادة فلزية ذات درجة انصهار عالية، ولها قابلية عالية

لتوصيل الحرارة، ولها عدد ذري كبير، مثل التنجستون. ويبين

الشكل (٢) العناصر الأساسية لجهاز إنتاج الأشعة السينية.

لاحظ العلماء أن باستطاعة الإلكترونات التي تسير بسرعة عالية تحويل جزء من طاقتها الحركية إلى أشعة سينية عند تصادمها مع ذرات مادة المصعد، وهذا يعني أنه لإنتاج الأشعة السينية يتوجب علينا الحصول على إلكترونات ذات سرعة عالية، ومادة فلزية تصطدم بها هذه الإلكترونات محولة جزءاً من طاقتها الحركية إلى أشعة.



الشكل (٢): العناصر الأساسية في جهاز إنتاج الأشعة السينية

فعند مرور تيار كهربائي خلال فتيلة المهبط تكتسب إلكترونات مادة المهبط طاقة كافية لتحرر من أنوية ذرات مادة المهبط ، وبوجود فرق جهد موجب عالٍ بين مصدر الإلكترونات وهدف التصادم (قرص المصعد) تتسارع الإلكترونات بدءاً من السكون ، وتكتسب طاقة حركية تعتمد على فرق الجهد ، أي إن :

$$ط_c = \frac{1}{2} ك_e ع^2 = eV$$

حيث : $ك_e$: كتلة الإلكترون ،

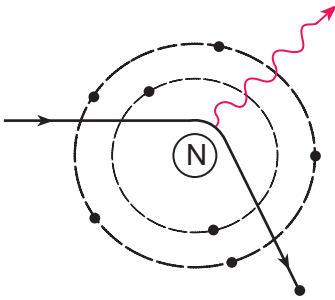
$ع$: سرعة الإلكترون عند وصوله الهدف (المصعد) ،

eV : شحنة الإلكترون ،

$ج$: فرق الجهد بين المصعد والمهبط .

عند اصطدام هذه الإلكترونات المتسارعة بالمصعد تفقد جزءاً كبيراً من طاقتها الحركية على هيئة طاقة حرارية بسبب احتكاكها بمادة المصعد ، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة المصعد . ويتحول جزء آخر من طاقة حركة الإلكترونات إلى أشعة سينية ، تدرج تحت نوعين :

١. أشعة الإيقاف (الفرملة) Bremsstrahlung Radiation

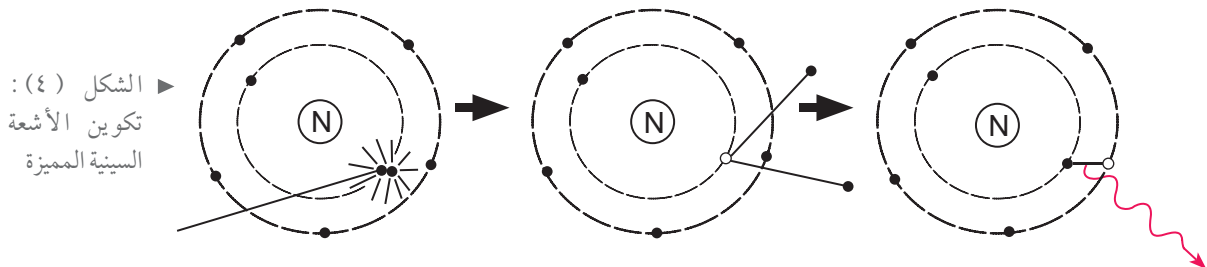


الشكل (٣) : تكوين أشعة الإيقاف

عند اقتراب الإلكترون من نواة مادة التنجستن ينحرف عن مساره الأصلي مما يتسبب بتقليل كمية تحركه وطاقته الحركية ، ويتحول فرق الطاقة إلى طاقة حركية لنواة ذرة الهدف وإلى شعاع ينبعث خارجاً من منطقة التصادم كما في الشكل (٣) .

٢. الأشعة السينية المميزة (Characteristic Radiation)

يمكن أن يصطدم الإلكترون المتسارع بالإلكترون في المدار الداخلي لذرات مادة المصعد ، فيعطيه طاقة كافية لتحرره من الذرة . وحيث إنه لا يمكن أن يبقى موضع الإلكترون المتحرر فارغاً فإن إلكترونات من مدارات عليا في تلك الذرة يهبط إلى المدار الداخلي ليملاً الفراغ . وحيث إن طاقة الإلكترون في المدارات العليا أعلى منها في المدارات الدنيا ، فإن الفرق بين طاقة المدارين يتحرر من الذرة على شكل فوتون كما في الشكل (٤) .



الشكل (٤) :
تكوين الأشعة
السينية المميزة

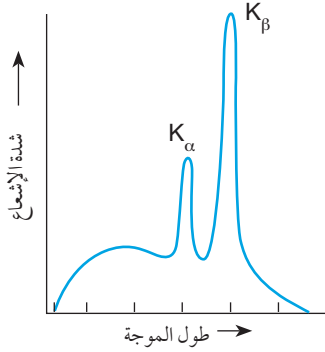
تعتمد طاقة الشعاع المميز على الفرق بين طاقة المدارين اللذين انتقل بينهما الإلكترون، أي:

$$ط_٧ = ط_١ - ط_٢ \dots \dots \dots (١)$$

حيث : $ط_٧$: طاقة فوتون الأشعة السينية .

$ط_١$: طاقة المدار الذي هبط منه الإلكترون .

$ط_٢$: طاقة المدار الذي هبط إليه الإلكترون .



الشكل (٥) : طيف الأشعة السينية

بالإضافة إلى الفرق في كيفية تكون أشعة الفرملة والأشعة المميزة، فإن هناك فرقاً آخر بينهما، وهو أن الأشعة المميزة لها طاقة محددة (طول موجة محدد) تعتمد على الفرق بين طاقة المدارين اللذين انتقل بينهما الإلكترون حسب المعادلة (١)، أما أشعة الإيقاف فتنتج بأطوال موجية متصلة، ويبين الشكل (٥) الأشعة السينية المنبعثة بكلا الحالتين، وتتميز الأشعة السينية بالخصائص الآتية:

١ . هي أمواج كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء .

٢ . لها طاقة عالية جداً تمكنها من المرور خلال الأنسجة بسهولة، ويتم امتصاصها في المواد عالية الكثافة، مثل العظام والرصاص .

٣ . طول موجتها قصير جداً في حدود الأنجستروم .

فكر: هل يمكن تجميع الأشعة السينية وتفريقها مثل أشعة الضوء العادية؟

٢-١ إنتاج صورة بالأشعة السينية

إن الهدف من تصوير المريض بالأشعة السينية هو الحصول على صورة واضحة للجزء المراد تصويره، وتختلف المواد في قدرتها على امتصاص الأشعة السينية، ويعتبر هذا الاختلاف المبدأ الأساس المعتمد في تكوين درجات متباينة السواد على الصورة الإشعاعية، حيث يتطلب توضيح الصورة السينية لعضو معين أن تكون درجات التباين عالية بينه وبين ما يحيط به من أنسجة وأعضاء أخرى، وإذا تأملنا تركيب جسم الإنسان فإننا نجد العظام تحتوي على نسبة كبيرة من الكالسيوم ومتوسط عددها الذري ٨, ١٣، أما الأنسجة العضلية والدهنية (الأنسجة اللينة)، فإنها تتألف في الغالب من الأكسجين والهيدروجين والكربون ومتوسط عددها الذري ٤, ٧، وعند تعريض الجسم إلى الأشعة السينية، فإن العظام تمتص الأشعة بدرجة أكبر من امتصاص الأنسجة اللينة، وهذا يؤدي إلى اختلاف في كمية الأشعة التي تصل إلى فيلم التصوير. فالأماكن التي تحتوي على العظام تظهر على الفيلم بيضاء لعدم نفاذ الأشعة منها، أما الأماكن التي تحتوي على الأنسجة اللينة فتظهر على الفيلم سوداء. وتعتمد درجة سواد الفيلم على كمية الأشعة الساقطة عليه.

فكما ذكرنا سابقاً تختلف المواد من حيث قدرتها على امتصاص الأشعة السينية؛ وتعمل المواد كذلك على تشتيت الأشعة السينية بنوعها في جميع الاتجاهات، وهاتان الخاصيتان تؤثران على جودة الصورة السينية، لأن الفيلم يسجل الأشعة التي تصل إليه، فيعمل التشتت على تقليل جودة الصورة على الفيلم، ولمعرفة أثر الظلال على جودة الصورة قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط(٢): أثر الظلال على جودة الصورة

المواد والأدوات: مصدران ضوئيان أحدهما صغير الحجم والآخر كبير، وشاشة.

خطوات العمل:

١. ضع الشاشة على بعد مناسب أمام المصدر الصغير أولاً، ثم ضع يدك بين المصدر الضوئي والشاشة وراقب صورة يدك على الشاشة.

٢. بدّل المصدر الضوئي الصغير بالمصدر الضوئي الكبير وضع يدك كما في الحالة السابقة ثم راقب صورة يدك ثانية على الشاشة.

هل لاحظت فرقاً في وضوح صورة يدك على الشاشة؟ هل لاحظت تميزاً واضحاً بين منطقتي الإضاءة والظل؟ في أي حالة توجد منطقة شبه ظل؟

لا شك أنك توصلت إلى نتيجة مفادها أن المصدر الضوئي الأصغر حجماً يعطي صورة أوضح ويضع تحديداً أدق لحدود الجسم الذي تصوره.

إن جودة الصورة الإشعاعية تعني دقة تطابق الظلال على فيلم الأشعة مع التفاصيل التشريحية للجسم بشكل واضح، ويحتاج الطبيب المعالج إلى صورة عالية الجودة كي يتمكن من تشخيص المرض، ولكن التشتت يعمل على تقليل جودة الصورة، ويجعلها أقل وضوحاً، ويعتمد تشتت الأشعة السينية في المواد على العوامل الآتية:

١. طاقة الأشعة السينية، فكلما ازدادت طاقة الأشعة السينية قلّ تشتت الأشعة.

٢. سُمك الجزء المعرض للأشعة، فكلما زاد سمك ذلك الجزء

ازداد تشتت الأشعة.

فكر: كيف يؤثر التشتت على صحة المريض؟

٣. مساحة المنطقة التي تعرضت للأشعة مقارنة بالمساحة المراد

تصويرها، فكلما زادت المساحة زاد التشتت.

وهذا يعني أن على فني التصوير العمل على تقليل الأشعة المتشتتة إلى أقل قدر ممكن، وهذا يكون باستخدام أشعة ذات طاقة عالية، وتقليل سُمك الجزء المصور من الجسم، وتقليل المساحة المعرضة للأشعة إلى أقل حد ممكن.

ويصعب في بعض الاحيان اخذ صورة اشعاعية لعضو معين عندما يمتلك هذا العضو نفس العدد الذري للمنطقة المحيطة به ، لذلك يتم استعمال مواد ذات عدد ذري عالي داخل العضو ، لتمييزها عن المنطقة المحيطة به تسمى بوسائل التباين ، ومن هذه الوسائل :

١ . يحقن المريض بمادة مشبعة باليود (^{131}I) داخل الرئة لتغطية جدار الرئة من الداخل واظهار القصبات الهوائية بشكل واضح .

٢ . يعطى الباريوم (^{66}Ba) عن طريق الفم لتصوير الجهاز الهضمي بشكل واضح .

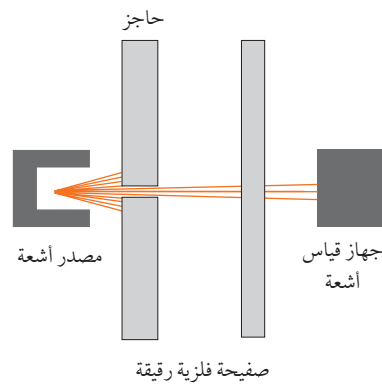
إن سرعة الفيلم من العوامل المهمة التي تؤثر في جودة الصورة ، وكمية الأشعة التي يتعرض إليها المريض ، ويحتاج الفيلم إلى كمية معينة من الأشعة تصل إليه لكي تتكون عليه صورة جيدة ، وتتميز الأفلام بخاصية السرعة ، فهناك أفلام ذات سرعة عالية ، أي تحتاج إلى كمية قليلة من الأشعة لإنتاج صورة عليها ، أو تحتاج لأن تتعرض للأشعة لفترة زمنية قصيرة ، وأفلام ذات سرعة بطيئة ، أي إنها تحتاج إلى كمية أكبر من الأشعة لإنتاج صورة عليها ، أو أن تتعرض للأشعة إلى فترة زمنية أطول .

أسئلة للمناقشة

١ . ما أثر سرعة الفيلم على جودة الصورة؟

٢ . هل تحتاج إلى تغيير زمن الإشعاع عند تغيير سرعة الفيلم؟ وهل يؤثر ذلك على كمية الأشعة التي يمتصها جسم المريض؟ .

اضمحلال الأشعة السينية



الشكل (٦) : قياس شدة حزمة رقيقة من الأشعة بعد مرورها بمادة ذات سمك معين

يؤثر سمك نسيج الجسم الذي تخترقه الأشعة قبل أن تصل إلى الفيلم على جرعة الأشعة التي يتعرض لها المريض ، والذي يسهم في تقليل الإشعاعات المتشعبة داخل الجسم وهذا ما يعرف باضمحلال الأشعة السينية . يعرف اضمحلال لحزمة من الأشعة السينية على أنه النقص الناتج عن امتصاص أو تشتت فوتونات الحزمة بعد مرورها عبر مادة ما ، ولقياس ذلك نأخذ حزمة رقيقة من الأشعة السينية نحصل عليها بتمرير حزمة من الأشعة عبر فتحة صغيرة في حاجز ، كما في الشكل (٦) .

ويستخدم جهاز لقياس شدة الأشعة التي تمر من خلال صفائح رقيقة من مادة مثل الألمنيوم . فإذا كانت شدة الأشعة قبل مرورها من صفائح الألمنيوم S_1 وشدة الأشعة بعد مرورها من صفائح الألمنيوم S_2 ، فقد بينت التجارب أن S_2 تتناقص بصورة أسية عند تغيير سمك الصفائح الألمنيوم ، أي إن :

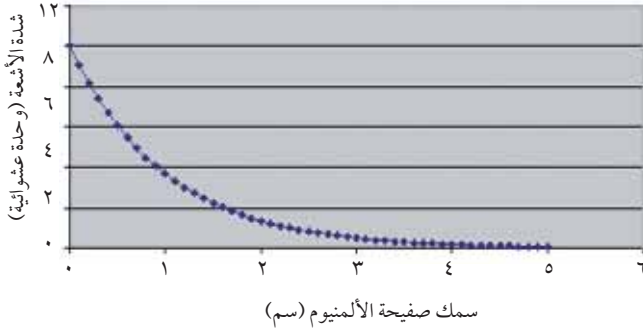
$$S_2 = S_1 e^{-\mu x}$$

حيث أ: ثابت معامل الاضمحلال الخطي للمادة،

س: سمك صفيحة الألمنيوم،

ه: العدد النيبري

تذكر: شدة الأشعة هي كمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحة في وحدة الزمن.



الشكل (٧): العلاقة بين شدة الأشعة وسمك الصفيحة

يبين الشكل (٧) العلاقة بين شدة الأشعة وسمك صفيحة من الألمنيوم، ويعتمد معامل الاضمحلال الخطي للمادة كذلك على طاقة الأشعة السينية الساقطة على المادة، والجدول (١): يبين كيف يتغير معامل الاضمحلال بتغير طاقة الأشعة السينية أثناء مرورها في بعض المواد.

كالتسيوم Ca	المنيوم Al	أكسجين (10^{-3}) O	كربون C	هيدروجين (10^{-4}) H	طاقة الفوتون كيلو إلكترون فولت (keV)
١٤٤,٧٠٨	٧١,١١٨٧	٧,٥٣٣٨	٤,٩٢٠٨	٠,٣٢٢٧	١٠
١٩,٨٤٠	٩,١٠٩١	١,٠٨٠٠	٠,٩٢٦٣	٠,٣٠٩٤	٢٠
٢,٧٧٦٠	١,٥٠٣٦	٠,٣٤١٣	٠,٤٥٩٢	٠,٢٨٩٦	٤٠
١,٠١٠٤	٠,٧٤٤١	٠,٢٥٢١	٠,٣٩٢٤	٠,٢٧٣٠	٦٠
٠,٥٦٧٦	٠,٥٤٣٨	٠,٢٢٣٠	٠,٣٦١٦	٠,٢٥٨٩	٨٠
٠,٤٠١٤	٠,٤٦٠٤	٠,٢٠٦٥	٠,٣٤٠٢	٠,٢٤٦٦	١٠٠
٠,٢٦١٨	٠,٣٧٢٧	٠,١٨١٣	٠,٣٠٢٨	٠,٢٢٢٠	١٥٠
٠,٢١٤٧	٠,٣٣٠٦	٠,١٦٤٨	٠,٢٧٦٥	٠,٢٠٣٤	٢٠٠
٠,١٧٣٤	٠,٢٨١٥	٠,١٤٢٥	٠,٢٣٩٩	٠,١٧٦٩	٣٠٠
٠,١٥١٩	٠,٢٥٠٥	٠,١٢٧٥	٠,٢١٤٧	٠,١٥٨٥	٤٠٠
٠,١٣٧٣	٠,٢٢٨١	٠,١١٦٣	٠,١٩٦٠	٠,١٤٤٧	٥٠٠

الجدول (١): معامل الاضمحلال بوحدة سم-١ لبعض العناصر كدالة على طاقة الفوتون بوحدة كيلو إلكترون فولت keV

مثال (١):

احسب سمك صفيحة من الكالتسيوم اللازمة لتخفيف شدة أشعة طاقتها ٦٠ keV إلى ١,٠، قيمتها الأصلية علماً بأن لور ١,٠ يساوي -٣,٢.

الحل:

بالرجوع إلى الجدول تلاحظ أن معامل الإضمحلال لفوتون طاقته ٦٠ keV عند مروره في صفيحة من الكالسيوم هو ١,٠١٠٤ سم^{-١}.

بتطبيق معادلة الإضمحلال $ش_٢ = ش_١ هـ^{-١}$ ينتج:

$$١,٠١ = هـ^{-١}$$

بأخذ اللوغرتم الطبيعي لكلا الطرفين نحصل على:

$$-٢,٣ = -١,٠١٠٤ س$$

$$س = ٢,٢٨ سم$$

سؤال :

تعرف طبقة نصف القيمة (Half-value layer) لحزمة من الأشعة على انها سمك صفيحة من مادة معينة تعمل على تقليل شدة الأشعة إلى نصف قيمتها الأصلية. احسب من الجدول السابق طبقة نصف القيمة لحزمة من الأشعة طاقتها ١٠٠ keV عند مرورها في صفيحة من الألمنيوم.

سؤال :

كم عدد طبقات نصف القيمة من الألمنيوم يلزم لتقليل شدة أشعة طاقتها ١٥٠ keV إلى أقل من ٥٪ من قيمتها الأصلية؟

٣-١ | التصوير الطبقي (CAT) Computerized Axial Tomography



الشكل (٨): فكرة التصوير الطبقي

ينتقل التصوير الطبقي بفكرة التصوير التقليدي بالأشعة السينية إلى مرحلة جديدة، فبدلاً من إيجاد الحدود الخارجية للعظام والأعضاء، فإن التصوير الطبقي يكون صورة ثلاثية الأبعاد لداخل جسم المريض باستخدام الحاسوب، كذلك فإن باستطاعة فني التصوير أن يحدد للتصوير شرائح معينة من جسم المريض لا يزيد سمكها عن ١ سم.

لمعرفة كيف يتم ذلك علينا أن نتذكر أن صورة الأشعة السينية التقليدية هي عبارة عن تسجيل لظل الأجسام على الفيلم. وهذه الظلال لا تعطي صورة حقيقية عن الجسم الذي تم تصويره. إذا نظرت إلى صورة الفتاة المبينة في الشكل (٨) التي تحمل في يدها اليمنى حبة أناناس وفي يدها اليسرى موزة، فإنك تلاحظ صورتين مختلفتين للفتاة في اتجاهين



الشكل (٩): جهاز التصوير الطبقي

مختلفين ، فجسمها حجب صورة حبة الأنااس عن الحائط الخلفي ، وحجب صورة يدها اليسرى التي تحمل الموزة عند الحائط الجانبي ، ولمعرفة الصورة الحقيقية علينا أن ننظر إلى الظلين على الحائطين ، وهذا هو مبدأ عمل جهاز التصوير الطبقي .

في جهاز التصوير الطبقي يتحرك مصدر الأشعة السينية حول المريض في شكل دائري آخذاً مئات الصور للجسم ، وبدلاً من تسجيل هذه الصور على الفيلم ، فإن الصور تدخل إلى حاسوب ويعاد تركيبها لتشكّل صورة ثلاثية الأبعاد لداخل الجسم ، وتكوّن الصور الطبقيّة ، ويشبه جهاز التصوير الطبقي في تكوينه الكعكة العملاقة مفرغة الوسط كما في الشكل (٩) .

ولأخذ الصور الطبقيّة يستلقي المريض على طاولة متحركة تنزلق داخل الفتحة . يقع مصدر الأشعة السينية على حلقة متحركة تنزلق على حافة الفتحة. ويقابلها مجسات لقياس شدة الأشعة السينية موصولة بحاسوب . يقوم محرك خاص بتدوير الحلقة بحيث يدور كل من مصدر الأشعة والمجسات حول المريض ، وعند دوران هذه الحلقة دورة كاملة يمكن الحصول على صورة لشريحة معينة من الجسم ، وبعد ذلك يقوم مركز التحكم بتحريك الطاولة التي يتمدد عليها المريض إلى داخل الفتحة لأخذ صورة لشريحة ثانية ، وهكذا . وحيث إن طبيعة الجسم تختلف من موقع إلى آخر ، فإنه يمكن باستخدام الحاسوب تغيير شدة الأشعة للحصول على أفضل صورته . وبعد مرور المريض من الفتحة يقوم الحاسوب بدمج كافة المعلومات ليشكّل صورة ثلاثية الأبعاد وتفصيلية عن الجسم .

٤-١ | التشخيص بالعناصر المشعة (الطب النووي)

إن الهدف من التشخيص بوساطة العناصر المشعة هو الحصول على صورة لتوزيع مادة تحتوي على عنصر مشع داخل الجسم ، وذلك بعد إعطاء هذه المادة للمريض إما عن طريق الفم أو الحقن بالوريد . ويتم ذلك بوساطة تسجيل الإشعاعات الصادرة عن العنصر المشع بجهاز قياس خاص يوضع في أماكن مختلفة .

إن أفضل الإشعاعات لمثل هذا التشخيص هي أشعة جاما (٧) التي تحمل طاقة في حدود (٨٠-٥٠٠) كيلو إلكترون فولت . إن أشعة جاما التي تحمل هذه الطاقة قادرة على اختراق أنسجة الجسم ليتم التقاطها بوساطة جهاز القياس ، كذلك يمكن للعاملين والزائرين الوقاية منها باستخدام حاجز رقيق من مادة الرصاص .

ومن معرفتك بخواص أشعة ألفا وأشعة بيتا في الوحدة السابقة ، تلاحظ أن العناصر التي تطلق هذه الأشعة لا يمكن استخدامها في مثل هذا التشخيص ؛ لأن هذه الأشعة لا تستطيع أن تخترق أنسجة الجسم لتصل إلى جهاز القياس إلا إذا كانت على سطح الجسم .

كذلك لا بد وأن تتوافر بعض الصفات في أجهزة القياس المستخدمة بهذا الأسلوب، ومن بين الصفات المهمة لهذا الغرض:

١. يجب أن يكون للجهاز فعالية عالية لقياس أشعة جاما (γ)
٢. يجب أن يكون للجهاز القابلية للتمييز بين أشعة (γ) ذات الطاقات المختلفة، وهذا يمكن الجهاز من رفض الأشعة التي فقدت جزءاً من طاقتها بسبب التشتت.

لقد وجد أن بلورات يوديد الصوديوم (NaI) تحقق الخاصيتين المذكورتين أعلاه وبسرعة معقول، ولهذا السبب تستخدم في أجهزة التشخيص.

ظهرت أول محاولات للتشخيص بالعناصر المشعة في أواخر الأربعينيات من القرن الماضي، حين تم وضع مجموعة من مجسات الأشعة حول رأس المريض على شكل مصفوفة، وأخذ قراءات هذه المجسات وتحويل القراءات إلى صورة. كذلك تم استخدام مجس واحد في المواقع المحددة وتغيير موقعه بشكل يدوي والحصول على مجموعة من القراءات والحصول بعد ذلك على صورة. كانت هذه المحاولات متعبة وتحتاج إلى وقت طويل نسبياً، ولم تكن الصورة واضحة التفاصيل.

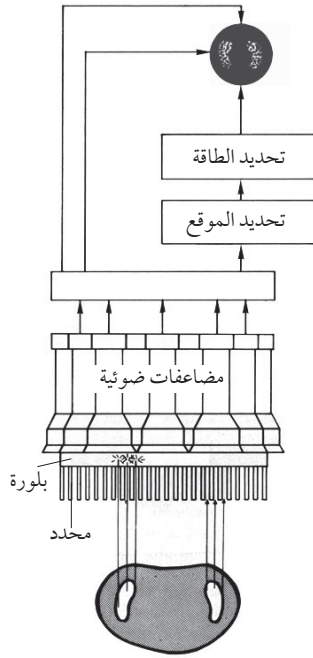
تلا تلك المحاولات تقدم ملحوظ في بداية الخمسينيات، عندما قدم بن كاسن (Ben Cassen) الماسح الخطي، حيث يتحرك المجس بشكل ميكانيكي فوق المنطقة المعنية مسجلاً الإشعاعات على شكل نقاط تُطبع على ورقة خاصة. لقد تم تطوير هذا الجهاز وما زال يستخدم في بعض التطبيقات، إلا أنه يحتاج إلى وقت طويل نسبياً (بضع دقائق) للحصول على صورة؛ ذلك لأن الصورة النهائية عبارة عن قياسات متتالية في نقاط كثيرة في منطقة القياس.

٥-١ | كاميرا أنجر



كاميرا أنجر

لقد تمكن العالم هال أنجر (Hal Anger) في العام ١٩٥٣ من تصميم جهاز يستطيع قياس أشعة جاما الصادرة عن عدة نقاط في نفس الوقت وتسجيل صورة لتلك الأشعة؛ مما أدى إلى تقليل وقت القياس بشكل ملحوظ، وقد أدخل عدة تعديلات على جهازه في نهاية الخمسينيات، من بينها استخدام بلورات يوديد الصوديوم المحتوية على عنصر الثاليوم (TI) NaI لالتقاط الأشعة، وجهاز المضاعف الضوئي (Photomultiplier Tube) لزيادة فعالية الكشف عن الأشعة، ولقد سمي هذا الجهاز باسم مخترعه (Anger Scintillation Camera) كما أدخل عليه عدة تعديلات وتحسينات بما فيها استخدام الحاسوب لتحليل القراءات وإعطاء صورة واضحة.



الشكل (١٠): مخطط لكاميرا أنجر

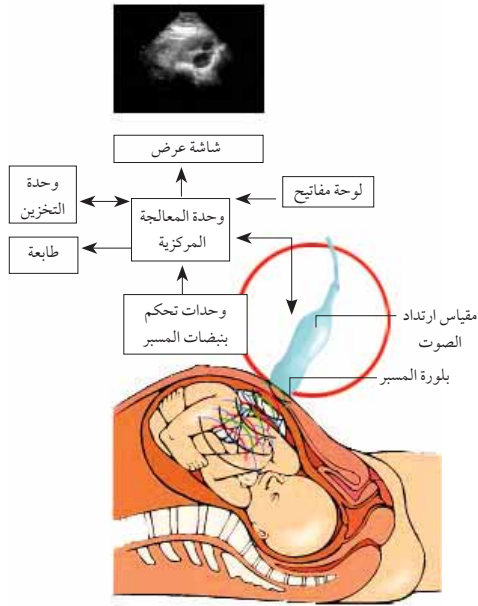
يمثل الشكل (١٠) الخطوط الأساسية لتكوين صورة باستخدام كاميرا أنجر. عند صدور الأشعة من جسم المريض يعمل المحدد (Collimator) على إسقاط هذه الأشعة على بلورة NaI (TI) حيث يتكون شكل من الومضات الضوئية في البلورة يمثل صورة توزيع المادة المشعة في جسم المريض أمام المحدد. تقع مجموعة من المضاعفات الضوئية (Photomultiplier Tube) على الجهة الخلفية من البلورة، وتعمل على التقاط الومضات الضوئية المتكونة في البلورة لتنتقل هذه الومضات إلى دائرة كهربائية تحدد موقع كل من هذه الومضات، ثم إلى دائرة إلكترونية تحدد طاقتها. وإذا كانت هذه الطاقة ضمن قيمة محددة مقبولة، فإن الدائرة تعطي إشارة ضوئية على شاشة خاصة بحيث يكون موقع هذه الإشارة على الشاشة مماثلاً لموقع مصدرها في جسم المريض.

٦-١ | التشخيص بالأموال فوق الصوتية

يعدّ التصوير بالأموال فوق الصوتية إحدى طرق التشخيص الطبي، حيث يتم فيه استخدام أموال صوتية ذات تردد عالٍ وصداها المرتد من حاجز يفصل بين وسطين من مادتين مختلفين، ويشبه في طريقة عمله طريقة تحديد المواقع التي يستخدمها الطواط والحوت والدلفين.

يتألف جهاز الأموال فوق الصوتية من العناصر الأساسية الآتية، انظر الأشكال (١١، ١٢).

١. مسير محول للطاقة: يعمل على إرسال واستقبال الأموال فوق الصوتية، ويعدّ الجزء الأساسي في الجهاز، وهو يمثل الفم والأذنين للطواط. يتألف المسير من بلورة تعمل على تحويل الطاقة من كهربائية إلى ميكانيكية (ضغط) وبالعكس، ويكون بأشكال وأحجام مختلفة حسب الحاجة.
٢. وحدة المعالجة المركزية: وهي عبارة عن حاسوب يقوم بكافة الحسابات المطلوبة وتخزينها، بالإضافة إلى تزويد المسير بالطاقة اللازمة.
٣. وحدات تحكم بنبضات المسير: وهي عبارة عن دوائر كهربائية تساعد على تغيير قوة النبضات وتردداتها وفترة تأثيرها.
٤. شاشة عرض: حيث يتم عرض الصورة بعد معالجة البيانات في وحدة المعالجة المركزية.
٥. لوحة مفاتيح تستخدم لإدخال المعلومات وأخذ القراءات.
٦. وحدة تخزين (قرص صلب، قرص مرن، قرص مدمج) حيث يتم تخزين الصور المأخوذة.



الشكل (١٢): كيفية عمل جهاز الأمواج فوق الصوتية



الشكل (١١): جهاز الأمواج فوق الصوتية

كيفية عمل جهاز الأمواج فوق الصوتية

يطلق الجهاز ملايين النبضات فوق الصوتية في الثانية الواحدة، ويستقبل صداها ليشكل الصورة اللازمة. ويتم ذلك حسب الخطوات الآتية التي تظهر في الرسم التوضيحي شكل (١٢):

١. يصدر الجهاز أمواجاً فوق صوتية ذات تردد عال، (١-٥) مليون هيرتز، على شكل نبضات داخل جسم المريض باستخدام مجس (مسبر).

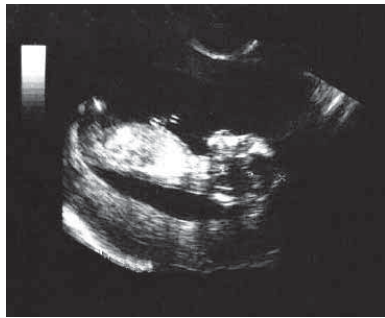
٢. تنتقل الأمواج فوق الصوتية داخل الجسم حتى تصطدم بحاجز يفصل بين وسطين مختلفي التركيب، مثل سائل وأنسجة لينة، أو أنسجة لينة وعظام.

٣. يرتد جزء من الأمواج من الحاجز، في حين يستمر الجزء الآخر حتى يصل إلى حاجز آخر ليرتد جزء آخر منها.

٤. يتم التقاط الجزء المرتد بواسطة المسبر الذي يحوله إلى إشارات كهربائية، ويبعثه إلى وحدة المعالجة المركزية في الجهاز.

٥. من معرفة سرعة الأمواج في الأنسجة والزمن بين الموجة الصادرة من المسبر والمرتدة إليه من الحاجز يتم حساب المسافة التي قطعها الأمواج.

٦. تقوم وحدة المعالجة المركزية بعمل الحسابات اللازمة وفق برمجة خاصة، وتشكل صورة لداخل جسم المريض يتم عرضها على شاشة كما في الشكل (١٣)، أو إرسالها إلى طابعة لطباعتها.



الشكل (١٣): صورة مأخوذة بالأمواج فوق الصوتية لجنين

٧-١ | استخدامات الأمواج فوق الصوتية في التشخيص

يتميز التصوير فوق الصوتي بأنه لا يستخدم الأشعة المؤينة ، وأن نتائجه أسرع من استخدام الأشعة السينية في التصوير ، ومن بين الاستخدامات الطبية للأمواج فوق الصوتية ما يأتي :

١ . مجال التوليد وأمراض النساء :

- قياس حجم الجنين لتحديد موعد الولادة .
- تحديد وضع الجنين داخل الرحم والتأكد أنه في الوضع السليم (الرأس للأسفل) .
- فحص موضع المشيمة والنظر فيما إذا كانت تتكون بصورة خاطئة .
- تحديد عدد الأجنة داخل الرحم .
- فحص جنس الجنين .
- فحص معدل نمو الجنين داخل الرحم .
- فحص كمية السائل الأمنيوسي (النُخَط) حول الجنين .
- الكشف عن أورام سرطانية داخل المبيض والثدي .

٢ . مجال أمراض القلب :

- لتحديد وجود خلل وظيفي أو تركيب في القلب .
- قياس معدل تدفق الدم خلال القلب والأوعية الدموية الرئيسية .

٣ . مجال أمراض الجهاز البولي

- قياس تدفق الدم خلال الكليتين .
- الكشف عن ترسبات كلسية (حصى) داخل الكلية .
- الكشف المبكر عن سرطان غدة البروستاتا .

- س ١ : سقطت أشعة سينية طاقتها ١٥٠ keV على صفيحة كربونية سمكها ٣ سم . إذا كانت شدة الأشعة قبل سقوطها على الصفيحة ٣٠ وحدة فكم تكون شدتها بعد مرورها من الصفيحة؟
- س ٢ : إذا استبدلت صفيحة الكربون في السؤال السابق بصفيحة من الألمنيوم ، احسب سمك صفيحة الألمنيوم اللازمة لتخفيف شدة الأشعة بنفس المقدار .
- س ٣ : سقطت أشعة سينية طاقتها ٣٠٠ keV على صفيحة مزدوجة مكونة من الألمنيوم والكربون . سمك صفيحة الألمنيوم ١ سم وسمك صفيحة الكربون ٢ سم . إذا كانت شدة الأشعة الساقطة ١٠ وحدات ، احسب :
- أ . شدة الأشعة بعد مرورها من صفيحة الألمنيوم وحدها .
- ب . شدة الأشعة بعد مرورها من صفيحة الكربون وحدها .
- ج . شدة الأشعة بعد مرورها من الصفيحة المشتركة .
- س ٤ : احسب سمك طبقة نصف القيمة لأشعة طاقتها ٤٠ keV عند مرورها في الهيدروجين .
- س ٥ : اشرح فكرة عمل جهاز التصوير الطبقي .
- س ٦ : ما الشروط الواجب توافرها في العناصر المشعة لتؤهلها للتشخيص الطبي؟ وما الشروط الواجب توافرها في أجهزة القياس بهذا الأسلوب؟
- س ٧ : اذكر بعض استخدامات الأمواج فوق الصوتية في التشخيص .

درست في الفصل السابق استخدام الأشعة والأمواج في التشخيص والكشف عن بعض الأمراض . ولكن كيف تستخدم الأشعة والأمواج في معالجة بعض الأمراض ، وما الصفات الواجب توافرها لكي تستخدم في العلاج؟ وما الأمراض التي يمكن معالجتها بالأشعة والأمواج؟ .

هذه الأسئلة ، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل ، وستكون قادراً على أن :

- ١ . تتعرف استخدام الأشعة فوق البنفسجية في معالجة بعض الأمراض .
- ٢ . تتعرف مبدأ عمل الليزر .
- ٣ . تبين بعض الاستخدامات الطبية لأشعة الليزر .
- ٤ . تذكر بعض العناصر المشعة المستخدمة في المجال الطبي وتذكر بعض خصائصها .
- ٥ . تتعرف بعض الأمراض التي يمكن معالجتها باستخدام العناصر المشعة .

١-٢ | العلاج باستخدام الأشعة فوق البنفسجية

تعدّ الأشعة فوق البنفسجية من الأشعة غير المؤينة، وقد أصبح لها دور مهم في علاج الأمراض الجلدية حيث تستخدم كعلاج موضعي يمكن التحكم به بسهولة ويسر، وسوف نستعرض استخدامها في علاج بعض الأمراض، مثل الصدفيّة واليرقان لدى الأطفال حديثي الولادة.

الصدفيّة (Psoriasis)



تعتبر الصدفية مرضاً جلدياً مزمناً يصيب جلدة الرأس وحول المفاصل ويمكن اعتبارها سبباً لإعاقة جسدية ونفسية للمريض. انظر الشكل (١).

ويمكن أن تكون الإصابة على شكل نقاط محددة أو يمكن أن تغطي الإصابة مناطق واسعة من الجلد. وهي ليست مرضاً معدياً ولا تنتقل من منطقة مصابة الى أخرى غير مصابة على المريض نفسه.

لقد لوحظ على مدى سنوات طويلة أن التعرض لأشعة الشمس يخفف من حدة المرض، وقد تم استخدام الأشعة فوق البنفسجية على مدى سنوات طويلة لعلاج هذا المرض.

يعتمد علاج الصدفيّة على عدة عوامل منها موقع الإصابة وشدة المرض وتاريخ الإصابة في كل حالة. وعلى الرغم من أنه لا يوجد شفاء تام لهذا المرض، إلا أن العلاج يخفف من حدته، ويكون العلاج باستخدام الأشعة أو الأدوية أو الجمع بينهما.

الشكل (١): مرض الصدفية

الأشعة فوق البنفسجية عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي قصير، يتم امتصاصها في بشرة الجلد. وقد استخدمت الأشعة فوق البنفسجية ذات الحزمة العريضة لعلاج الإصابات الصغيرة، والإصابات واسعة الانتشار، والإصابات التي تقاوم العلاج الموضعي بالأدوية. كذلك تم استخدام نوع جديد من الأشعة فوق البنفسجية ذات الحزمة الضيقة التي تناسب علاج الصدفيّة اللازم.

إن التعرض للأشعة فوق البنفسجية يؤدي الى احمرارات جلدية، كذلك فإن اختيار الأشعة فوق البنفسجية المناسبة مهم. فعلى الرغم من الفائدة العلاجية للأشعة، إلا أنها تسبب تلفاً للخلايا السليمة المجاورة. لقد لوحظ أن الأشعة ذات الطول الموجي أقل من ٢٩٥ نانومتر لا تعمل على تخفيف المرض، إلا أنها تسبب احمراراً جلدياً للخلايا السليمة المجاورة، وإذا استخدمنا أشعة ذات طول موجي أكبر (في حدود ٣٠٠-٣٢٠ نانومتر) فإن الفوائد العلاجية تفوق النتائج السلبية لها.

اليرقان عند حديثي الولادة (neonatal jaundice)

يظهر اليرقان (الاصفرار) لدى حوالي ٥٠٪ من الأطفال حديثي الولادة في الأيام الأولى بعد الولادة، وهو ناتج عن زيادة تركيز مادة البليروبين (bilirubin) في الدم. قبل الولادة تكون هذه المادة غير مرتبطة، ويتم التخلص منها عن طريق المشيمة، أما بعد الولادة فإن الكبد يعمل على ربط هذه المادة والتخلص منها إلى الأمعاء. تحمل هذه المادة لوناً أصفر مائلاً إلى الاحمرار، مما يسبب لون الاصفرار لدى الأطفال حديثي الولادة. وهي تنتج من تكسر خلايا الدم الحمراء. وارتفاع تركيزها في الدم يكون لأسباب منها:

١. عادة ما يكون تركيز كريات الدم الحمراء لدى حديثي الولادة مرتفعاً، ومن الطبيعي أن يقوم جسم الطفل بتكسير خلايا الدم الزائدة مما ينتج عنه ارتفاع تركيز مادة البليروبين.
٢. يكون الكبد لدى الأطفال حديثي الولادة غير مكتمل ولا يستطيع معالجة الفائض من مادة البليروبين والتخلص منه بنفس سرعة إنتاجه، مما يرفع تركيزه في الدم.

لقد أظهرت الدراسات وجود علاقة مباشرة بين ارتفاع تركيز هذه المادة في الدم والإصابة بإعاقات دماغية، ولهذا يحرص الأطباء على أن يكون تركيز هذه المادة لدى الأطفال حديثي الولادة ضمن المدى المأمون، وفي حالة ارتفاع تركيزها في الدم يتوجب علاج الطفل بالسرعة الممكنة.

لقد لاحظت ممرضات أحد المستشفيات أن الأطفال حديثي الولادة الأقرب إلى الشبابيك يصابون باليرقان بنسبة أقل من أمثالهم البعيدين عن الشبابيك، وقد وثق هذه الملاحظات الطبيب كريمر Cremer في العام ١٩٥٨ حين أوضح أن مادة البليروبين حساسة للضوء، وأن تركيزها في الدم يقل بعد تعرض الجسم للضوء، حيث يعمل الضوء الأزرق بشكل خاص على ربط هذه المادة وتحويلها إلى شكل يذوب في الماء؛ مما يساعد على التخلص منها إلى الأمعاء.

ولمعالجة الأطفال المصابين باليرقان يوضع الطفل داخل حاضنة بلاستيكية ويعرض إلى نوع خاص من ضوء الفلوروسنت الذي يمتصه جلد الطفل. يعمل هذا الضوء على تحويل مادة البليروبين إلى صورة يسهل التخلص منها إلى البراز أو البول. خلال العلاج بالضوء يتم تعرية جسم الطفل لتعريضه لأقصى قدر ممكن من الأشعة، كذلك يتم تغطية عيني الطفل لحماية لهما؛ لأن شدة الضوء قد تسبب ضرراً في شبكية العين.

سؤال للمناقشة: هل هناك أضرار أخرى يمكن أن تصيب الطفل نتيجة لتعرضه إلى الضوء الأزرق القريب من الأشعة فوق البنفسجية؟ ناقش ذلك مع مدرّسك.

٢-٢ أشعة الليزر

عندما تم اختراع الليزر، أطلق عليه لقب "الحل الذي يبحث عن مشكلة". وقد ثبتت صحة هذه المقولة، فقد استخدم الليزر في قياس المسافات بدقة، وفي طابعات الحاسوب (Laser Jet)، وفي التعرف إلى السلع في مراكز البيع التجارية، وفي الاتصالات، وفي تحديد الأهداف بدقة خصوصاً للاستخدامات العسكرية، وفي قارئ القرص المدمج CD player، وفي قص المعادن وفي مجال الطب.

للاطلاع فقط

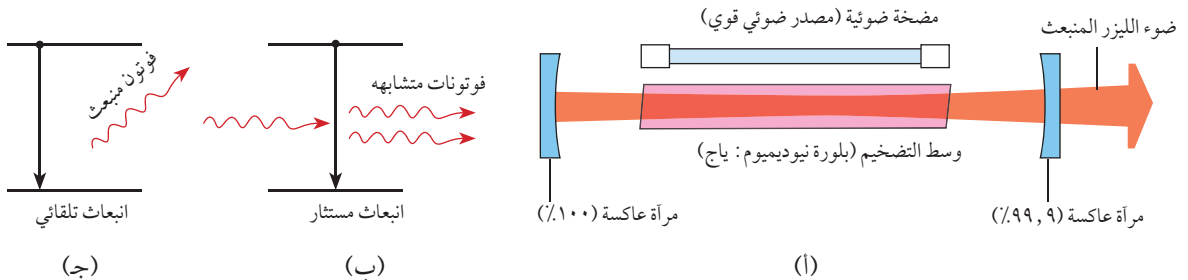
في عام ١٩٥٤م قام العالمان الأمريكيان Townes و Schawlow، والعالمان الروسيان Basov و Prokorov، باختراع جهاز الميزر (MASER) الذي يصدر أشعة المايكرويف (وهي أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية تنتقل بسرعة الضوء، وطول موجتها أكبر من طول موجة الضوء المرئي) باستخدام غاز الأمونيا. وقد تبع هذا الاختراع سباقاً نحو بناء جهاز مشابه يستطيع إطلاق أشعة مرئية، وكان العالم الأمريكي Maiman أول من قام ببناء مثل هذا الجهاز عام ١٩٦٠. ولكن عالماً أمريكياً آخر يدعى Gould ادعى أنه صاحب فكرة الليزر. وبعد محاكم دامت أكثر من ٣٠ عاماً، نال Gould براءة الاختراع. وكلمة MASER مشتقة من الأحرف الأولى للكلمات الإنجليزية الآتية: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation، والتي تعني تضخيم الأمواج الميكروية عن طريق الانبعاث المستثار. أما كلمة ليزر فهي مشتقة من الأحرف الأولى للكلمات الإنجليزية الآتية: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation، وتعني تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث المستثار، كما في الشكل (٢).

مبدأ الليزر

هناك الكثير من أنواع الليزر، ولكن مبدأ عملها الأساسي متشابه، ويرتكز على ظاهرة الانبعاث المستثار (stimulated emission). وهذه الظاهرة يمكن استخدامها لتضخيم الضوء في الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة. فالذرات عادة تكون في وضع استقرار بحيث تكون إلكتروناتها في أقل مستوى طاقة ممكن (المستوى الأرضي). ولكن ماذا يحدث إذا تم رفع هذه الإلكترونات إلى مستوى أعلى للطاقة باستخدام مصدر للضوء أو تفريغ كهربائي. إن عدداً كبيراً من الإلكترونات ينتقل إلى هذا المستوى المرتفع، ويحدث ما يسمى بالانقلاب السكاني (population inversion)؛ أي أن عدد الإلكترونات في المستوى الأعلى للطاقة يكون أكبر بكثير من تلك في المستوى الأرضي. وعندئذ يمكن لهذه الإلكترونات أن تعود إلى المستوى الأرضي بطريقتين؛ هما:

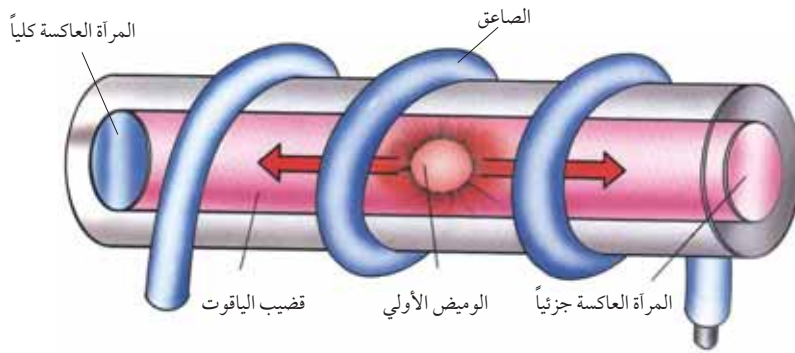
أ. الانبعاث التلقائي (spontaneous emission). كما في الشكل (٢).

ب. الانبعاث المستثار (stimulated emission).



الشكل (٢): يبين الانبعاث التلقائي والانبعاث المستثار

في الانبعاث التلقائي، تنتقل الإلكترونات تلقائياً من المستوى العلوي إلى المستوى السفلي للطاقة مطلقة فوتوناً من الضوء، وتنطلق هذه الفوتونات في اتجاهات عشوائية. أما في حالة الانبعاث المستثار، فإن مرور فوتون يحمل طاقة تساوي الفرق في الطاقة بين مستويي الطاقة، يدفع بالذرة لإطلاق فوتون مطابق له في كل الصفات؛ مما يؤدي إلى تضخيم عدد الفوتونات. ويكون الوسط الذي يتم التضخيم فيه موضوعاً بين مرآتين، كما في الشكل (٣)، وتعمل المرآتان على عكس الضوء مرات كثيرة بحيث يتم تضخيم الضوء بنفس الطريقة كل مرة. وباستخدام مرآة تعكس ٩٩,٩% من الضوء، فإن جزءاً صغيراً من الضوء يهرب إلى خارج الجهاز، وهذا هو ضوء الليزر.



الشكل (٣) : الليزر الياقوتي

سؤال :

ما الفرق بين خواص الضوء المنبعث بطريقة الانبعاث التلقائي والضوء المنبعث بطريقة الانبعاث المستثار؟

صفات ضوء الليزر

يتكون ضوء الليزر من فوتونات لها كلها نفس طول الموجه (أحادية اللون Monochromatic) وتسير معاً بنفس الطور (in phase) وتتحرك فوتوناته بشكل متناغم (coherent) ومنظم، حيث يمكن تشبيهها بمجموعة جنود في استعراض عسكري. ويكون شعاع الليزر دقيقاً ومركزاً (directional) بعكس الضوء الصادر عن المصباح مثلاً، والذي يكون موزعاً ومشتتاً في كل الاتجاهات.

مثال (١) :

قارن بين شدة إضاءة مصباح كروي قطره ٦ سم وقدرته ١٠٠ واط وشعاع ليزر قدرته ١٠ ملي واط وقطره ١ ملم.

$$\text{شدة الضوء} = \frac{\text{مقدار الطاقة المنبعثة}}{\text{وحدة مساحة} \times \text{وحدة زمن}}$$

الحل:

حيث إن الضوء المنبعث من اللمبة ينتشر في جميع الاتجاهات فإنه يمكن اعتبار أن اللمبة هي عبارة عن كرة نصف قطرها ٣سم،

$$\text{شدة إضاءة المصباح} = \frac{\text{القدرة}}{\text{مساحة سطح الكرة}} = \frac{100}{\pi 4 (2-10 \times 3)^2} = 8842 \text{ واط/م}^2$$

$$\text{شدة الليزر} = \frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}} = \frac{10 \times 10}{\pi 4 (3-10 \times 0,5)^2} = 12732 \text{ واط/م}^2$$

لاحظ أن شدة إضاءة اللمبة تتغير بتغير البعد عنها حسب قانون التربيع العكسي ، أما شدة إضاءة الليزر فلا تتغير ؛ لأن أشعة الليزر تبقى متوازية إلى مسافات بعيدة جداً . كذلك لاحظ أنه على الرغم من أن قدرة الليزر أقل بكثير من قدرة اللمبة إلا أن شدة أشعة الليزر أكبر بكثير من شدة إضاءة اللمبة .

يمثل الجدول الآتي بعض أنواع الليزر بأطوال موجية مختلفة من فوق البنفسجي الى تحت الحمراء ، حيث يمثل النوع طبيعة المادة المستثارة .

النوع	طول الموجة (نانومتر)
فلوريد الأرجون (فوق بنفسجي)	193
فلوريد الكريبتون (فوق بنفسجي)	248
كلوريد الزينون (فوق بنفسجي)	308
نيتروجين (فوق بنفسجي)	337
أرجون (أزرق)	488
أرجون (أخضر)	514
Nd:YAG مزدوج البلورة (أخضر)	532
هيليوم-نيون (أخضر)	543
هيليوم-نيون (أحمر)	633
الياقوت CrAeO3 (أحمر)	694
Nd:YAG (تحت الحمراء)	1064

جدول (1) : بعض أنواع الليزر المستخدمة في الطب وطول موجة الأشعة المنبعثة .

3-2 | استخدامات الليزر في مجال الطب

يستعمل الليزر في مجال الطب بثلاثة طرق :

- 1 . كمبضع جراحي .
- 2 . لتدمير الخلايا غير المرغوب فيها .
- 3 . للحم الخلايا سوية .

يمتاز الليزر بقطع الأوعية الدموية وتضميدها في آن واحد دون حصول أي نزيف يذكر، حيث يستعمل ليزر ثاني أكسيد الكربون لهذا الغرض، كما يستعمل لتدمير الخلايا السرطانية بتسخينها إلى درجة حرارة عالية، ثم تفجيرها أو تبخيرها، ويستعمل الضوء الأزرق المخضر الناتج من ليزر الأرغون الذي يمر عبر الخلايا المائية الصافية فلا يؤثر عليها، بينما تمتصه خلايا الجلد السمراء التي تكثر فيها صبغة الميلانين، أو خلايا الدم الحمراء، فتلتئم الجروح من دون ضمادات أو قطب، وسوف نتطرق بشيء من التفصيل إلى بعض الاستخدامات الطبية لأشعة الليزر فيما يأتي:

١. طب وجراحة العيون

وجدت أشعة الليزر استخدامات عدة في مجال طب وجراحة العيون، منها:

أ. تعديل النظر:

يستخدم كثير من الأشخاص العدسات لتحسين مدى الرؤية لديهم، فبعضهم (بعيدو النظر) يستخدمون العدسات المحدبة لرؤية الأجسام القريبة بوضوح، وبعضهم (قصيرو النظر) يستخدمون العدسات المقعرة لرؤية الأجسام البعيدة بوضوح. وفي كلتا الحالتين تكون عدسة العين غير قادرة على تجميع الأشعة الضوئية على شبكية العين. لقد وجد أنه يمكن استخدام أشعة الليزر لتغيير مقدار تحدب مقدمة القرنية بحيث تساعد على تجميع الضوء على الشبكية، ما ينتج عنه رؤية واضحة، ويتم ذلك بتبخير أجزاء من القرنية، إما من الوسط أو من الأطراف، حسب الحاجة. فإذا كان الشخص مصاباً بعدد النظر يتم نحت أجزاء من محيط القرنية لزيادة تحدب العين، أما إذا كان الشخص مصاباً بقصر النظر فإنه يتم نحت أجزاء من وسط القرنية وذلك لتقليل تحدب العين. وتستخدم لهذا الغرض أشعة ليزر قادرة على تبخير الأنسجة بسمك لا يتجاوز نانومتر واحد. ويستعمل لهذا الغرض ليزر طول موجته ما بين ١٩٣ إلى ٣٣٧ نانومتر؛ أي في مدى الأشعة فوق البنفسجية. وتمتاز هذه الأشعة بعدم قدرتها على اختراق الأنسجة لأعماق كبيرة؛ مما يمكنها من نحت الأنسجة بدقة متناهية، حيث يمكن بواسطتها نحت نسيج سمكه ٢٥، ٠ نانومتر.

(النانومتر = 10^{-9} متر)

ب. لحام الشرايين الممزقة أو المثقوبة داخل العين:

لقد وجد أن استخدام أشعة الليزر الياقوتي ذات اللون الأخضر يعمل على لصق (لحام weld) الشرايين الممزقة أو المثقوبة، ويحدث ذلك؛ لأن لون الشرايين يميل إلى اللون الأحمر، فعند تسليط ضوء الليزر الأخضر عليها، يتم امتصاصه مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها، ومن ثم صهرها ولصقها.

٢. إزالة الوشم



الشكل (٤): إزالة الوشم بالليزر

تستخدم أشعة الليزر في إزالة الوشم من على الجلد، حيث تعمل على تبيض الجلد من آثار الوشم وذلك عن طريق تبخير الخلايا الملونة بالوشم وتفتيت مادة الحبر وبعثرتها في الخلايا المجاورة، وبالتالي حملها والتخلص منها بواسطة جهاز المناعة، انظر الشكل (٤)، وحيث أن الوشم يختلف في لونه من شخص إلى آخر كان لا بد من استخدام أشعة ليزر بألوان مختلفة (تختلف بطول الموجة) لكل حالة.



(أ)



(ب)

إزالة الوشم بالليزر (أ) قبل العلاج،
(ب) بعد العلاج

- فمثلاً: تستخدم أشعة الليزر ذات اللون الأخضر وطول موجة ٥٣٢ نانوميتر المنبعثة من جهاز Nd:YAG مزدوج البلورة لإزالة الوشم الأحمر والبرتقالي.
- تستخدم أشعة الليزر الأحمر بطول موجة ٦٩٤ نانوميتر المنبعثة من الليزر الياقوتي لإزالة الوشم الأخضر.
- تستخدم أشعة الليزر تحت الحمراء وطول موجة ١٠٦٤ نانوميتر المنبعثة من جهاز Nd:YAG لإزالة الوشم الأزرق الداكن والأسود.

٣. إزالة الشعر

يستخدم الليزر البلوري المعروف باسم (Nd:YAG) حيث تتكون البلورة من عناصر النيوديميوم والأيتيريوم والألمنيوم المركب (Neodymium: Yttrium Aluminum Garnet (Nd:YAG) ذي اللون تحت الأحمر وطول موجته ١٠٦٤ نانوميتر لحرق بصيالات الشعر الداكنة اللون؛ مما يمنع من نموها مرة ثانية لاحظ الشكل (٥).



الشكل (٥): إزالة الشعر
باستخدام الليزر.

٤. إزالة الاحمرار البقعي السطحي

يصاب بعض الأشخاص ببقع حمراء على الوجه والذراعين كما في الشكل (٦)، تصعب معالجتها بالجراحة التقليدية لكبر المساحة المصابة، وتستخدم أشعة ليزر الأرجون ذات اللون الأصفر وطول موجته ٥٨٥ نانوميتر

لتبييض الجزء المصاب وذلك بتبخير الخلايا المصابة . تجدر الإشارة إلى أنه إذا اختلفت درجة الإحمرار فإنه يتوجب تغيير لون أشعة الليزر المستخدم .

الشكل (٦): الاحمرار البقي
السطحي قبل (يمين) وبعد
(اليسار) المعالجة بأشعة
الليزر بطول موجة ٥٨٥
نانوميتر .



٥. معالجة الأوعية الدموية السطحية

يظهر على أرجل كثير من النساء وبعض الرجال بعض الأوردة والشرابين السطحية؛ مما يجعل منظر الساقين سيئاً. كما في الشكل (٧)، وقد استخدمت عدة طرق لمعالجة هذه الظاهرة، ومن بين هذه الطرق أشعة الليزر، وتختلف الأوعية الدموية من حيث لونها، وعمقها، وحجمها، وتبعاً لذلك يتم اختيار طول موجة أشعة الليزر المناسب. وفيما يأتي بعض الحالات ونوع الليزر وطول موجته المناسب لكل حالة:

- لمعالجة الأوعية الدموية السطحية (عمق أقل من ٠,٥ ملم) صغيرة الحجم (قطرها أقل من ٠,٥ ملم) يستخدم الليزر الأخضر بطول موجة ٥٣٢ نانوميتر .
- لمعالجة الأوعية الدموية بعمق (٠,٥-١,٠) ملم يستخدم الليزر الأصفر بطول موجة (٥٨٥-٦٠٥) نانوميتر؛ لأن له قدرة اختراق أكبر من الضوء الأخضر .
- لمعالجة الأوعية الدموية العميقة يستخدم الليزر تحت الأحمر بطول موجة ١٠٦٤ نانوميتر . وقد وجد أن جلسة علاج واحدة أو اثنتين كافية لإزالة حوالي ٧٥٪ من هذه الأوعية .

الشكل (٧): يبين الأوعية
الدموية الظاهرة على الساق
قبل (يسار) وبعد (يمين)
المعالجة بأشعة الليزر .



٤-٢ | العلاج بوساطة العناصر المشعة

بعد أن اكتشف الزوجان كوري عنصر الراديوم المشع عام ١٨٩٨ ، تم استعماله لعلاج مرض السرطان ، وذلك بوضعه بالقرب من أو ملامساً للورم السرطاني ، حيث يوضع العنصر المشع داخل الجسم ملامساً للأنسجة المريضة بحيث يعطي جرعة إشعاعية عالية للأنسجة المصابة . ولقد كان العنصر الأكثر استخداماً وشيوعاً لسنوات طويلة هو عنصر الراديوم المشع . ومع تطور المفاعلات النووية فقد توفر كثير من العناصر المشعة الصناعية والتي حلت محل عنصر الراديوم ، إلا أن الأساليب التي كانت متبعة في استخدام عنصر الراديوم بقيت واستخدمت مع العناصر المشعة الأخرى .

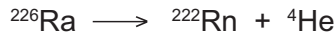
والجدول الآتي يوضح خصائص بعض العناصر المشعة المستخدمة في الطب النووي .

العنصر	فترة عمر النصف	طاقة الفوتون المنبعث (MeV)	سُمك طبقة النصف (ملم رصاص)
Ra ²²⁶	١٦٢٢ سنة	٠,٠٤٧-٢,٤٥ (متوسط ٠,٨٣)	٨,٠
Rn ²²²	٣,٨٣ أيام	٠,٠٤٧-٢,٤٥ (متوسط ٠,٨٣)	٨,٠
Cs ¹³⁷	٣٠,٠ سنة	٠,٦٦٢	٥,٥
Ir ¹⁹²	٧٤,٢ أيام	٠,١٣٦-١,٠٦ (متوسط ٠,٣٨)	٢,٥
Au ¹⁹⁸	٢,٧ أيام	٠,٤١٢	٢,٥
I ¹²⁵	٦٠,٢ أيام	٠,٠٢٨ (متوسط)	٠,٠٢٥

جدول (٢): بعض العناصر المشعة المستخدمة في الطب النووي العلاجي وبعض الخصائص الخاصة بها

أ. الراديوم

هو العنصر السادس في سلسلة اليورانيوم التي تبدأ باليورانيوم - 238 وتنتهي بالرصاص المستقر ²⁰⁶Pb . يتحلل عنصر الراديوم المشع بفترة عمر نصف مقدارها ١٦٢٢ سنة إلى غاز الرادون المشع مطلقاً جسيمات ألفا حسب المعادلة الآتية :



يتحلل غاز الرادون بدوره حسب تحلل سلسلة اليورانيوم إلى أن يصل إلى عنصر الرصاص المستقر بعد أن يطلق ما لا يقل عن ٤٩ فوتوناً من الأشعة جاما بطاقة تتراوح بين (٠,١٨٤ إلى ٢,٤٥) MeV ، ومتوسط طاقة مقداره ٠,٨٣ MeV عندما يكون عنصر الراديوم في حالة اتزان مع العناصر التي يتحلل لها في السلسلة ومحاطاً بحافظة من البلاطين سمكها ٥,٠ ملم . لاحظ أن الأشعة ذات الطاقة الأقل من ٠,١٨٤ MeV يتم امتصاصها من قبل البلاطين الذي يغلف المادة المشعة .

يتم تحديد عبوات الراديوم المشع بمواصفات أهمها :

١ . الطول الفاعل : وهو المسافة بين طرفي المادة المشعة في العبوة .

٢. الطول الفيزيائي : وهو المسافة بين الطرفين الحقيقيين للعبوة .

٣. النشاطية الإشعاعية : وهي محتوى الراديوم في العبوة وتحدد غالباً بالمليغرام .

٤. الترشيح : وهي سمك حائط العبوة وعادة ما يحدد بوساطة مليمترات من البلاتين .

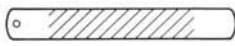
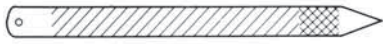
تحدد النشاطية الإشعاعية الخطية للعبوة بقسمة النشاطية لها على طولها . يمثل الشكل (٨) ثلاثة أشكال لإبر الراديوم التي تستخدم للغرس في الأنسجة :

١. إبر منتظمة النشاطية الإشعاعية الخطية .

٢. إبر تحتوي على نشاطية مضاعفة عند أحد الطرفين .



٣. إبر تحتوي على نشاطية مضاعفة عند كلا الطرفين مقارنة بالوسط .



الشكل (٨) : أشكال إبر الراديوم

حيث إن عنصر الراديوم يتحلل منتجاً غاز الرادون فإن أي تلف بعبوة الراديوم يشكل مصدر خطر للمستخدمين . لذلك فإن عبوات الراديوم تصنع بأغلفة مزدوجة محكمة الإغلاق لمنع غاز الرادون المشع من الانتشار ، وقد أثبتت الدراسات أن عبوة الراديوم المصنوعة من البلاتين يمكن أن تبقى بحالة جيدة إلى ما يقرب من ٤٠٠ سنة .

ب. السيزيوم-137 ^{137}Cs

هو نظير مشع تنبعث منه أشعة جاما ، ويستخدم كبديل لعنصر الراديوم المشع . يحضر على شكل مسحوق لا يذوب أو حبيبات صغيرة توضع في عبوات مزدوجة التغليف من الفولاذ الذي لا يصدأ (stainless steel) على شكل إبر أو أنابيب .

نشاط (١) :

بالرجوع إلى الجدول ناقش الفوائد من استخدام ^{137}Cs بديلاً عن الراديوم من حيث الطاقة المنبعثة من كل منهما ، والمخاطر الناجمة عن استخدام كل منهما .

يطلق عنصر ^{137}Cs أشعة جاما (٧) بطاقة مقدارها ٠,٦٦٢ MeV . وعند اضمحلال عنصر ^{137}Cs فإنه يتحول إلى عنصر ^{137}Ba بإطلاق جسيم بيتا β ، ولكن ٥,٩٣٪ من هذه الاضمحلالات تكون متبوعة بإطلاق أشعة جاما من الباريوم غير المستقر . أما فيما يتعلق بجسيمات بيتا β والأشعة السينية المميزة المنبعثة فإنها تُمتص في الفولاذ الذي يحيط بالمصدر .

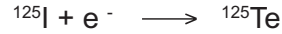
ج. الذهب ^{198}Au

تستخدم حبيبات من نظير الذهب المشع ^{198}Au للزراعة داخل الأنسجة بشكل دائم (لماذا؟). بالرجوع إلى الجدول (٢) فإننا نلاحظ أن للذهب فترة عمر نصف مقدارها ٢,٧ يوم، وأن طاقة الفوتونات المنبعثة منه هي ٠,٤١٢ MeV. وبالرغم من أن عنصر الذهب المشع ^{198}Au يطلق جسيمات بيتا بطاقة ٠,٩٦ MeV إلا أن هذه يتم امتصاصها بغلاف من البلاتين سمكه ١,٠ ملم.

عند مقارنة الطاقة المنبعثة من ^{198}Au مع تلك المنبعثة من الراديوم أو الرادون، فإننا نلاحظ أنها أقل، مما يعني أن ^{198}Au يحتاج إلى وقاية للعاملين أقل مما يحتاجه الراديوم أو الرادون. كذلك فإن حبيبات الرادون تستمر في إطلاق أشعة جاما لسنوات طويلة على الرغم من ضعفها، وهذا قد يكون سبباً لظهور السرطان. لهذا كله أصبح استخدام الذهب المشع أكثر شيوعاً من استخدام الرادون المشع في علاج السرطان.

د. اليود ^{125}I

اكتسب عنصر اليود المشع ^{125}I شهرة واسعة في مجال العلاج بالعناصر المشعة وذلك لاستخدامه في الزراعة الدائمة. يتميز هذا العنصر، مقارنة بغاز الرادون المشع والذهب المشع في أن له فترة عمر نصف طويلة نسبياً (٢,٦٠ يوم) مما يمكن من حفظه في المخزون لأيام، كذلك فإن طاقة الفوتونات المنبعثة المنخفضة تساعد على التعامل معه بحذر والوقاية منها. يتحلل ^{125}I بشكل أساسي عن طريق اكتساب إلكترون يتحول إلى ^{125}Te حسب المعادلة الآتية:



والذي بدوره يتحلل مطلقاً فوتونات (٧) بطاقة ٣٥,٥ keV.

- س ١ : اذكر العوامل التي يعتمد عليها علاج الصدفية .
- س ٢ : ما مقدار طول موجة الضوء المناسب لعلاج الصدفية .
- س ٣ : اشرح باختصار كيف يتم إنتاج أشعة الليزر؟
- س ٤ : ما صفات ضوء الليزر؟
- س ٥ : شعاع ليزر طول موجته ٦٩٤ نانومتر قطره ٥, ٠ ملم، وشدته ١ واط . احسب كمية الطاقة الناتجة عنه في ثانيتين . احسب سمك الأنسجة المتبخرة (على افتراض أنها مكونة من الماء) في ثانيتين .
- س ٦ : كيف تتم عملية إزالة الوشم بأشعة الليزر؟
- س ٧ : كيف تتم عملية إزالة الشعر بأشعة الليزر؟
- س ٨ : ما العوامل التي تؤثر على استخدام أشعة الليزر لمعالجة الأوعية الدموية السطحية؟
- س ٩ : إبرة راديوم تحتوي على ١٠ ملغم من نظير الراديوم المشع وطولها الفاعل ٢ سم . احسب النشاط الإشعاعي الخطية لها .
- س ١٠ : علل كلاً مما يأتي :
- أ . يفضل استخدام نظير السيزيوم ^{137}Cs بدلاً عن الراديوم .
- ب . يعدّ الذهب ١٩٨ المشع مؤهلاً للاستخدام داخل الأنسجة بشكل دائم .
- ج . يستعمل نظير اليود ^{125}I في مجال العلاج بالنظائر .

لا شك أن حياتنا المعاصرة مليئة بالمخاطر، ومن بين هذه المخاطر خطر التعرض للأشعة نتيجة للاستخدام الطبي. وبالرغم من قلة الخطر الناجم عن التعرض للأشعة مقارنة بالأخطار الأخرى التي نتعرض لها، إلا أنه يشكل خطراً على العاملين في المجال الطبي، وعلى الأفراد الذين يتعرضون للأشعة بتصوير أي جزء من أجسامهم. لعلك تتساءل عن مصادر الأشعة التي يمكن أن يتعرض لها الإنسان العادي، وعن الآثار التي تتركها الأشعة إذا تعرض جسم الإنسان لها؟ وهل هناك حدود دنيا لقيمة الأشعة يمكن عندها اعتبارها غير ضارة؟ وكيف يمكن أن نقلل من أخطار الأشعة؟

هذه الأسئلة وأخرى، غيرها ستمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف الوحدات المستخدمة في قياس الأشعة وآثارها.
٢. توضح مصادر الأشعة بأنواعها.
٣. تتعرف الآثار البيولوجية الناتجة عن التعرض للأشعة.
٤. تبين أساليب الوقاية من الأشعة.
٥. تتعرف بعض الأجهزة المستخدمة في قياس الأشعة.
٦. توضح كيف تعالج الحوادث الإشعاعية وتقي نفسك إذا حدثت.

يتعرض الإنسان إلى الأشعة من مصادر متعددة، وبأشكال متعددة منذ بدء الخليقة، حيث إن الأشعة الكونية كانت وما زالت تسقط على الكرة الأرضية، ويتعرض لها الإنسان، ولكن الحاجة إلى الوقاية من الأشعة لم تكن معروفة قبل عام ١٨٩٥ عندما تم اكتشاف الأشعة السينية وآثارها.

المصادر الطبيعية

من بين مصادر الأشعة الطبيعية التي يتعرض لها الإنسان ولا يستطيع أن يقي نفسه منها (وكان وما زال يتعرض لها):

١. الأشعة الكونية: وهي عبارة عن أيونات ثقيلة تصل إلى الكرة الأرضية من الفضاء الخارجي. وقد وجد أنها تنحرف مبتعدة عن منطقة خط الاستواء و متجهة إلى المناطق القطبية نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي الأرضي عليها. ولكي تصل هذه الإشعاعات إلى سطح الأرض فعليها أن تمر عبر الغلاف الجوي الذي يعمل على امتصاص أجزاء كبيرة منها وتقليل كمية ما يصل إلى سطح الأرض. أي إن الغلاف الجوي يعمل على حماية الإنسان من آثار هذه الإشعاعات.

كذلك فإن شدة الإشعاعات التي تصل إلى سطح الأرض تختلف باختلاف الارتفاع عن سطح البحر؛ لأن سمك الغلاف الجوي يختلف تبعاً لذلك، وقد وجد أن الصعود إلى ارتفاع ٢ كم فوق سطح البحر يزيد شدة الأشعة الكونية إلى ضعفي قيمتها عند سطح البحر.

٢. أشعة جاما الخارجية: وتصدر هذه عن عناصر مشعة موجودة في قشرة الكرة الأرضية، والتي تختلف من مكان إلى آخر على سطح الأرض. وقد وجد أن كميات هذه الأشعة تزيد في المناطق التي تحتوي على صخور جرانيتية. وحيث إن الناس يميلون إلى قضاء معظم أوقاتهم داخل البنيان، فإن مستويات التعرض لهذا النوع من الإشعاع يعتمد بشكل كبير على المواد التي تصنع منها البيوت، ولهذا فإن الناس الذين يبنون بيوتهم من الحجارة يكونون معرضين إلى جرعات أعلى من الأشعة مقارنة بأولئك الذين يبنون بيوتهم من الخشب. وسبب ذلك هو غاز الرادون المشع الذي ينبعث من كميات قليلة من عنصر اليورانيوم الذي يوجد في الصخور.

٣. إشعاعات داخلية: وتنتج هذه عن عناصر مشعة موجودة داخل أجسامنا. ومن العناصر المشعة الطبيعية التي توجد في أجسامنا عنصر البوتاسيوم -٤٠، وهو عنصر مشع يطلق إشعاعات بيتا (β) وجاما (γ)؛ مما يضيف إلى الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الجسم. كذلك يوجد عنصر الرادون في الهواء، وعند استنشاق الهواء تدخل ذرات هذا الغاز إلى الرئتين، وقد تحبس هناك مما يسبب تدميراً لأنسجة الرئتين.

إن مجموع ما يتعرض له الإنسان من الإشعاعات الطبيعية المذكورة أعلاه يعادل تقريباً ٠,٢ و١ ميلي سيفرت في العام لكل الجسم مأخوذاً بالمتوسط لكافة الناس، وعلينا أن نعلم أن بعض الناس يتعرضون لكميات أكبر بكثير من هذا المتوسط؛ ذلك بسبب موقعهم الجغرافي.

إضافة إلى المصادر الطبيعية التي يتعرض لها الإنسان، فإنه يتعرض إلى إشعاعات من صنع يده، ومن بين هذه المصادر:

- ١ . الطاقة النووية .
- ٢ . المفاعلات النووية .
- ٣ . التصوير بالأشعة السينية .
- ٤ . العلاج بالعناصر المشعة .
- ٥ . العمل داخل مؤسسات تستخدم الأشعة (طبية وصناعية) .

وعلينا أن نلاحظ هنا أن التصوير بالأشعة السينية يشكل حوالي ٩٠٪ من الأشعة التي يتعرض لها كل الجسم من بين المصادر التي هي من صنع الإنسان؛ مما يعني أنه يتوجب علينا عدم التصوير بالأشعة السينية ما لم تكن هناك حاجة ملحة وفائدة واضحة .

١-٣ | الوحدات المستخدمة في قياس الأشعة وآثارها

عند الحديث عن قياس الأشعة وآثارها فإنه لا بد من تعريف بعض الوحدات المستخدمة لذلك، وقد وجد اختلاف كبير في الآثار البيولوجية للأشعة المختلفة، فعلى سبيل المثال فإن الآثار البيولوجية الناجمة عن التعرض لأشعة ألفا (α) أكبر بكثير من الآثار البيولوجية الناجمة عن التعرض للأشعة السينية . كذلك فإن الآثار البيولوجية تعتمد بشكل كبير على كمية الأشعة التي تم امتصاصها في الأنسجة ومعدل امتصاصها في وحدة الزمن . وسوف نتعرف بعض الوحدات المستخدمة في النظام الدولي لقياس الأشعة .

للإطلاع فقط

- ١ . وحدة الرنتجن (R) Roentgen: وحدة قياس مقدار التعرض للأشعة، وهي كمية الأشعة اللازمة لتحرير ٥٨, ١٠×٢^{-٤} كولوم من ١ كيلو غرام من الهواء .
- ٢ . وحدة جراي (Gy) Gray: وهي مقياس لكمية الأشعة التي يتم امتصاصها في كتلة معينة، وهي كمية الأشعة التي يؤدي امتصاصها في المادة إلى انتقال كمية من الطاقة مقدارها ١ جول/كغم .
- ٣ . وحدة سيفرت (Sv) Sievert: وهي الوحدة المتعلقة بالوقاية من الإشعاع، وهي مقياس لكمية الجرعة المكافئة؛ لأن الأشعة المختلفة تترك آثاراً مختلفة، وتعرف على أنها كمية الأشعة التي يؤدي امتصاصها في المادة إلى انتقال كمية من الطاقة مقدارها ١ جول/كغم . ان الفرق بين هذه الوحدة ووحدة جراي هو معامل من دون وحدات . أي إذا كانت الجرعة الممتصة هي ج فإن الجرعة المكافئة ج_م، تعطى بالعلاقة: ج_م = ج × م حيث م معامل، يعتمد على نوع الإشعاع، وليس له وحدة قياس، وقيمه للأشعة السينية وأشعة جاما (γ) والالكترونات هو ١ أما للنيوترونات فقيمه تتراوح بين ٣-١٠ حسب طاقة النيوترونات، وللجسيمات الثقيلة مثل جسيمات الفا (α) فقيمة المعامل تتراوح بين ١-٢٠ حسب طاقتها .
- ٤ . وحدة كوري: كمية المادة المشعة التي تعطي ٣,٧×١٠^{١٠} اضمحلالاً في الثانية .
- ٥ . وحدة بيكرل: وحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي، وهي تمثل اضمحلالاً واحداً في الثانية، أي إن كورياً واحداً يعادل ٣,٧×١٠^{١٠} بيكرل .

٣-٣ | التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة

تنتج التأثيرات البيولوجية للأشعة بسبب تدمير الأشعة لخلايا الجسم، وتختلف هذه التأثيرات باختلاف كمية الأشعة ومعدل سقوطها في وحدة الزمن ونوع الخلايا التي تتعرض للأشعة. وتقسم التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة إلى قسمين رئيسيين:

التأثيرات الجسمية

وهي التي تنشأ عن تدمير الخلايا الاعتيادية للجسم وتقسم إلى تأثيرات مبكرة، وأخرى متأخرة.

أولاً: التأثيرات الجسمية المبكرة

تظهر هذه التأثيرات عند تعرض عموم الجسم أو جزء كبير منه إلى جرعة إشعاعية عالية في فترة زمنية قصيرة جداً (يوم واحد أو أقل). وتسمى هذه التأثيرات بالتأثيرات الحادة (Acute Effects). وتظهر آثارها في الخلايا الجسدية بعد أن تتجاوز الجرعة الممتصة حداً معيناً، ويزداد التأثير البيولوجي للإشعاع زيادة مطردة بتجاوز هذا الحد (انظر الجدول ١). ومن بين هذه التأثيرات ما يأتي:

الأثر	الحد الأدنى للجرعة (سيفرت)
الوفاة	٢,٠٠
تلف الأنسجة الموضعي	٣
تغير مكونات الدم	٠,٢٥
انحراف الكروموسومات	٠,٠٥

جدول (١) التأثيرات الجسمية للإشعاعات المؤينة

١: الوفاة وهي أكثر استجابة لفعل الأشعة تدميراً للإنسان. وعلى الرغم من قلة حدوث هذا الأثر إلا أنه تم تسجيل بعض الحوادث لأشخاص يعملون في مجال السلاح النووي والطاقة النووية أدت إلى الوفاة المباشرة.

٢: تغير مكونات الدم: يؤدي تعرض عموم الجسم لجرعات إشعاعية تزيد عن ٠,٢٥ سيفرت إلى نقص في مكونات الدم الأساسية، ويكون هذا النقص أشد كلما زادت الجرعة الإشعاعية لعموم الجسم. كذلك فإن مقدار الجرعة الإشعاعية يؤثر على المدة الزمنية اللازمة للشفاء. فكلما كانت الجرعة أكبر فإن الجسم يحتاج إلى فترة زمنية أكبر للشفاء. وعلى الرغم من أن كل مكونات الدم من خلايا بيضاء وخلايا حمراء وخلايا المقاومة تنقص نتيجة للأشعة إلا أن تأثر الخلايا اللمفاوية هو الأكثر والأشد.

٣: تلف الأنسجة الموضعي: إذا كانت الجرعة الإشعاعية فوق الحد المعين (انظر الجدول أعلاه) فإن أي نسيج موضعي سوف يتأثر، ومن الأمثلة على ذلك الغدد التناسلية، النخاع العظمي، الأنسجة العصبية والجلد. فعلى سبيل المثال عند تعريض الجلد إلى جرعة تزيد عن ٣,٠٠ سيفرت سوف يظهر على

الجلد احمرار يشبه الحروق، كذلك يمكن أن تسبب الأشعة سقوط الشعر عن الجلد.

٤. تدمير الكروموسومات: مع تطور العلوم أصبح من الممكن دراسة وتحليل الكروموسومات من النواحي الجينية. وقد أظهرت الدراسات أن كل نوع من أنواع الانحرافات الكروموسومية يمكن حدوثه نتيجة للأشعة. ولكن علينا أن نعلم إنه، تم الربط بين التعرض لأشعة تشخيصية وظهور انحرافات كروموسومية على الرغم من تسببها بذلك، إلا أن الربط بين الأشعة بكميات كبيرة (علاجية) وانحرافات كروموسومية كان واضحاً.

ثانياً: التأثيرات الجسمية المتأخرة

لاحظنا أن التأثيرات المبكرة تنشأ عندما يتعرض الجسم لجرعة إشعاعية أكبر من حد معين، وفي فترة زمنية قصيرة نسبياً. وكما نعلم فإن التشخيص بالأشعة يستخدم جرعات إشعاعية صغيرة نسبياً، ولندرة أية أعراض مبكرة نتيجة لصغر مقدار الجرعات الإشعاعية في الممارسات التشخيصية، ولندرة التأثيرات المتأخرة فإن الدراسات المتعلقة بهذا الأمر لا تحمل التأكيدات الإحصائية اللازمة. وعلى الرغم من ذلك فإن الدليل على ارتباط الجرعات الإشعاعية الصغيرة بالتأثيرات المتأخرة قاطع، ولا يمكن تجاهله، ومن هذه التأثيرات المتأخرة ما يأتي:

١. الآثار المحلية على بعض الأنسجة: أظهرت المراقبات على أن تعرض الأنسجة التناسلية الذكرية (الخصيتين) للأشعة يؤدي إلى نقص في عدد الحيوانات المنوية، وأن هذا الأثر يتناسب طردياً مع مقدار الجرعة التي تتعرض لها الخصيتان، كذلك وجد أنه يمكن أن يصاب الإنسان بعقم دائم إذا تعرضت الخصيتان إلى جرعة إشعاعية تزيد على ٤ سيفرت.

٢: الإصابة بالسرطان: أظهرت كثير من الدراسات على بعض الحيوانات المخبرية وعلى الإنسان، أن التعرض للأشعة المؤينة يؤدي إلى الإصابة بنوع أو آخر من أنواع السرطان، وذلك يعتمد على المنطقة من الجسم المعرضة للأشعة وكمية الأشعة التي يتعرض لها الجسم. ووفق ما يتوفر من معلومات فإن ظهور مرض السرطان يتناسب طردياً مع كمية الأشعة التي يتعرض لها الجسم. كذلك أظهرت تلك المعلومات أنه لا يوجد حد أدنى لكمية الأشعة، بحيث إذا تعرض الجسم لكمية أقل من ذلك الحد فإنه لا يصاب بالسرطان. وبناءً على ذلك يجب على الإنسان أن يعمل على عدم التعرض للأشعة المؤينة مهما كان ذلك قليلاً، إلا لوجود سبب قوي لذلك، مثل الفحص الطبي.

ومن بين أنواع السرطان التي يمكن أن يصاب بها الإنسان:

١. سرطان الدم Leukemia.
٢. سرطان الثدي لدى النساء Breast Cancer.
٣. سرطان العظام Bone Cancer.
٤. سرطان الغدة الدرقية Thyroid Carcinoma.

التأثيرات الوراثية للإشعاع

أظهرت التجارب على الذباب والفئران أن تعرض الخلايا الجنسية لهذه الكائنات إلى جرعات إشعاعية يؤدي إلى ظهور طفرات وراثية في نسل تلك الكائنات. كذلك أظهرت تلك التجارب أنه عند زيادة الجرعة الإشعاعية فإن

عدد الطفرات الوراثية الناتجة يزيد، و وجد أنه لا يوجد حد أدنى لتكون الطفرات الوراثية الناتجة عن الإشعاعات المؤينة. ولا تظهر هذه التأثيرات الوراثية على الشخص المتعرض للإشعاع، بل تظهر على الأجيال اللاحقة كطفرات تشتمل على الشذوذ الجيني الذي لا يحدث تغيراً في تركيب الكروموسومات أو عددها فقط، بل يغير موقع أحد هذه الجينات أو مجموعة منها مؤدياً إلى صفات مختلفة عن صفات الأبوين.

يكون الخلل الجيني ذا صفة متغلبة أو صفة متنحية، فإذا كان الشذوذ من النوع المتغلب، تظهر التغيرات في الصفات الجسدية في الأجيال اللاحقة. أما إذا كان من النوع المتنحي فإن التغيرات الوراثية تظهر عندما يكون الشذوذ في كل من الحيمن (الحيوان المنوي) والبويضة.

يعتمد تأثير الإشعاع في الخلايا الجنسية على عدة عوامل:

- الجرعة الإشعاعية التي تتعرض لها الخلايا الجنسية.
- نوع الإشعاع؛ فالتعرض لأشعة ألفا (α) أكثر خطراً من التعرض لأشعة جاما (γ).
- العامل الزمني، يكون عدد الطفرات أقل إذا كان التعرض للأشعة ناجماً عن تعرض متكرر قصير الأمد وجرعات صغيرة ويزيد بارتفاع الجرعة الإشعاعية وطول الفترة الزمنية.

٤-٣ أجهزة قياس الأشعة المؤينة

لتحديد كميات الأشعة التي يمكن أن نتعرض لها علينا أن نتعرف بعض الأجهزة المستخدمة في قياس الأشعة المؤينة، وتنوع أجهزة القياس حسب الغاية منها، فمنها ما هو مصنوع للأغراض المسحية، ومنها ما هو مصنوع لأغراض القياس الشخصية. كذلك فإن منها ما هو مصنوع لقياس الأشعة السينية وأشعة جاما، ومنها ما هو مصنوع لقياس الأشعة الجسيمية، مثل جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا والبروتونات، وسوف نتعرض لاثنتين من هذه الأجهزة.

مقياس الجيب Pocket Dosimeter

وهو عبارة عن قطبين كهربائيين داخل حيز مليء بالغاز يشبه في شكله الخارجي القلم كما في الشكل (١)، ويستخدم عادة لقياس جسيمات بيتا. ومبدأ عمله كما يأتي: يشكل القطبان داخل الحيز مواسعة يمكن شحنها لفرق جهد معين، وعند مرور إشعاعات داخل الغاز فإن هذه الإشعاعات تعمل على تأيين جزيئات الغاز؛ مما يعمل على تفريغ الشحنات على المواسعة، ويتناسب مقدار التفريغ طردياً مع كمية الأشعة التي دخلت إلى حيز الغاز، ومع وجود مقياس خاص فإنه يمكن معرفة كمية الأشعة التي وصلت الغاز، وعادة ما يستخدم هذا الجهاز لقياس كمية الأشعة خلال فترة زمنية معينة (ساعات لغاية يوم).



الشكل (١): مقياس الجيب

البلورات المضيئة بالتسخين (TLD) Thermo Luminescent Dosimeter

عند تعرض بعض البلورات إلى الحرارة فإنها تصدر ضوءاً يتناسب مع الأثر الذي تركه الأشعة المؤينة التي تعرضت لها تلك البلورات سابقاً. إن إصدار الضوء نتيجة للتسخين يسمى الإشعاع الحراري، ومن قياس كمية الضوء الصادرة عند تسخين البلورة يمكن معرفة كمية الأشعة التي تعرضت لها.



الشكل (٢): عينيات لعبوات تجارية للبلورات المضيئة بالتسخين

من أشهر المواد لصنع بلورات (TLD) هو فلوريد الليثيوم (LiF) حيث له تركيبية بلورية عادية، ولكن عند إضافة بعض الشوائب له تظهر بعض العيوب في تركيبته البلورية التي تسبب تغيراً في مستويات الطاقة. عند تعرض البلورة للأشعة فإن إلكترونات البلورة تمتص طاقة الأشعة لترتفع إلى مستويات طاقة عالية. معظم الإلكترونات تعود إلى حالة الاستقرار ولكن بعض هذه الإلكترونات تُحبس في مستويات الطاقة الناتجة عن الشوائب. وعند تسخين البلورة فإن هذه الإلكترونات المحبوسة ترتفع إلى مستويات طاقة أعلى والتي يمكن من خلالها العودة إلى حالة الاستقرار بعد إطلاق الضوء. إن كمية الضوء المنبعثة تتناسب طردياً مع عدد الإلكترونات التي حُبست، والتي بدورها تتناسب طردياً مع كمية الأشعة التي تعرضت لها البلورة، ويبين الشكل (٢) عينيات لعبوات تجارية للبلورات المضيئة بالتسخين.

٥-٣ الوقاية من الإشعاع في الطب التشخيصي

يعدّ التصوير بالأشعة السينية لأغراض التشخيص من أكبر المصادر الصناعية الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان. ومن المرجح أن كل واحد منا يتعرض في حياته إلى الأشعة السينية أثناء أخذ صورة لجزء من جسمه. وعلى الرغم من الفوائد الطبية الجمة لصورة الأشعة إلا أن للأشعة السينية أضراراً. وعلينا ألا نعرض أي جزء من جسمنا للأشعة دون وجود مبرر طبي واضح. كذلك يتوجب على من يعمل في مجال الطب الإشعاعي أن يراعي قوانين وقائية خاصةً لكونه يعمل باستمرار في مجال الأشعة، ومن المفروض أنه يعرف أخطار الأشعة وكيفية الوقاية منها.

لعلك تتساءل: إذا كان لا بد من التعرض للأشعة السينية لأخذ صورة فهل هناك احتياطات يمكن أخذها لتقليل الآثار السلبية للأشعة؟

هناك قواعد عامة لتقليل التعرض للأشعة، هي:

١. تقليل زمن التعرض للأشعة ما أمكن، وهذا يكون باستخدام الطاقة المناسبة للأشعة، واستخدام شاشة التقوية مع الفيلم.

٢. الابتعاد ما أمكن عن مصدر الأشعة، وذلك لأن الأشعة تنطلق بكافة الاتجاهات، وكلما ابتعد الشخص عن مصدر الأشعة تقل الكثافة الإشعاعية التي يتعرض لها وفق قانون التربيع العكسي.

- ٣ . استخدام الحواجز الواقية ، وهذه تمنع وصول الأشعة لأجزاء الجسم غير المرغوب في تصويرها .
 - ٤ . استخدام المرشحات ، وهذه عبارة عن صفائح معدنية من الألمنيوم أو النحاس ذات سمك متعدد توضع في طريق الأشعة بين المصدر والجسم ، وتعمل على امتصاص الأشعة ذات الطاقة القليلة والتي غالباً ما يتم امتصاصها في الجسم ولا تصل إلى الفلم ، وبالتالي ليس لها فائدة تشخيصية .
 - ٥ . استخدام الموجهات (Collimators) : وهي عبارة عن قوالب مصنوعة من الرصاص توضع بالقرب من مصدر الأشعة وتعمل على تحديد المجال الذي يتعرض له الجسم للأشعة . وعند أخذ صورة أشعة يتوجب على الفني استخدام أصغر مجال ممكن لأخذ الصورة .
- بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه فإن هناك اعتبارات أخرى يتوجب أخذها بعين الاعتبار ، منها :
- ١ . إعادة أخذ الصورة يعدّ من أهم أسباب تعريض المريض لأشعة لا داعي لها ، وعليه يتوجب على الفني أن يكون مدرباً لكي لا يرتكب أخطاء تكون نتيجتها تعريض المريض لأشعة لا داعي لها .
 - ٢ . حماية الأعضاء الحساسة ، مثل الأعضاء التناسلية من الأشعة وذلك باستخدام حواجز خاصة لذلك .
 - ٣ . عدم تعريض المرأة الحامل أو المؤهلة للحمل للأشعة إلا في حالات الضرورة القصوى ، لذلك يفضل على النساء أخذ صورة الأشعة خلال الأيام العشرة الأولى بعد الدورة الشهرية الأخيرة .

٦-٣ | الوقاية من الإشعاع في الطب النووي

- تعرفت في الفصل الأول استخدام العناصر المشعة في تشخيص بعض الأمراض أو الوظائف التي يقوم بها الجسم ، وعرفت كذلك أن الأشعة مهما كانت قليلة يمكن أن تسبب أضراراً ، لذلك هناك احتياطات خاصة بالطب النووي يتوجب أخذها بعين الاعتبار لتقليل تلك الأضرار . ومما يجب مراعاته في ممارسات الطب النووي ما يأتي :
- ١ . اتخاذ القرار المناسب حول أهمية إجراء الفحص للمريض .
 - ٢ . استخدام المادة الكيماوية الحاملة للمادة المشعة المناسبة للفحص المطلوب .
 - ٣ . استخدام الكمية المناسبة من المادة المشعة .
 - ٤ . التأكد أن المادة المشعة المحددة قد تم إعطاؤها للمريض المعني .
 - ٥ . التأكد أن أجهزة القياس الإشعاعي تعمل بشكل سليم .
- وحيث إن العناصر المشعة التي تستخدم في الطب النووي تطلق أشعة جاما (γ) ، لذلك يتوجب على العاملين في مجال الطب النووي مراعاة الأمور الآتية لحماية أنفسهم من إشعاعات لا داعي لها :
- ١ . ارتداء الصدرية الواقية من الإشعاع أثناء الفحوص الطبية .
 - ٢ . استخدام محقنة (Syringe) محمية بغشاء من الرصاص لامتناس الأشعة المنبعثة .
 - ٣ . استخدام المقاييس الشخصية لقياس الجرعة الإشعاعية التي يتعرضون لها .

قد يتعرض العاملون في أقسام الطب النووي إلى بعض الحوادث التي تسبب تعرضهم لإشعاعات غير ضرورية، ومن بين هذه الحوادث :

- ١ . تقيؤ المريض بعد تناوله المادة المشعة .
- ٢ . كسر الإناء الحاوي للمادة المشعة .
- ٣ . سقوط قطرات من المادة المشعة على الأرض ، أو الأثاث (طاولة ، كرسي) .
وتلافياً لما ينتج عن مثل هذه المشاكل يتوجب على الفيزيائي الطبي ما يأتي :
- ١ . أن يحتفظ بقفازات بلاستيكية ، أغطية أحذية ، ومواد مزيلة للمواد المشعة .
- ٢ . أن يوفر غرفة خاصة لوضع النفايات المشعة .
- ٣ . أن يحتفظ بمقاييس خاصة للتلوث الإشعاعي .
- ٤ . أن يبقى منطقة التلوث ضمن أضيق نطاق والعمل على عدم انتشار التلوث إلى مناطق أخرى .

أسئلة الفصل

- س١ : اذكر مصادر الأشعة المؤينة الطبيعية موضحاً مصدر كلٍّ منها .
- س٢ : اذكر مصادر الأشعة المؤينة الصناعية .
- س٣ : وضح الفرق بين الآثار الجسمية للأشعة والآثار الوراثية .
- س٤ : ما الفرق بين الآثار الجسمية المبكرة والآثار الجسمية المتأخرة ؟
- س٥ : اشرح كيف يعمل مقياس الجيب لقياس الأشعة .
- س٦ : اشرح كيف تعمل البلورات المضيئة بالتسخين (TLD) لقياس الأشعة .
- س٧ : كيف يمكن تقليل التعرض للأشعة ؟
- س٨ : ما الاحتياطات الواجب اتخاذها للوقاية من الإشعاع في الطب النووي ؟

س ١ : ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي :

١ . من ميزات الأشعة السينية أنها :

أ . تحمل شحنات سالبة . ج . لها طاقة عالية جداً .

ب . يمكن تجميعها وتفريقها بعدسات . د . طول موجتها في حدود ميكرومتر .

٢ . تختلف أشعة الإيقاف عن الأشعة السينية المميزة بأنها :

أ . كل منهما له طاقة محددة .

ب . أشعة الإيقاف تنتج عن تصادم إلكترون متحرك مع نواة ذرة ، في حين تنتج الأشعة المميزة من

تصادم إلكترون متحرك مع أحد إلكترونات الذرة .

ج . طاقة الأشعة المميزة دائماً أكبر من طاقة أشعة الإيقاف .

د . طاقة الأشعة المميزة دائماً أصغر من طاقة أشعة الإيقاف .

٣ . يتكون السواد على الفيلم :

أ . في الأماكن التي لم تصلها أشعة سينية . ج . في الأماكن التي تكون خلف العظام .

ب . في الأماكن التي وصلتها أشعة سينية . د . لا شيء مما ذكر .

٤ . أي الصفات الآتية ليست من صفات قرص المصعد في جهاز إنتاج الأشعة السينية :

أ . يتحمل درجات حرارة عالية . ج . مصنوع من مادة فلزية .

ب . موصل جيد للحرارة . د . العدد الذري لمادة المصعد في حدود ٢٠ - ٤٠ .

٥ . لا تستخدم باعثات ألفا أو باعثات بيتا في الطب النووي التشخيصي ؛ لأنها :

أ . لا يمكنها اختراق الأنسجة والوصول إلى جهاز القياس . ج . مشحونة .

ب . طاقتها في الغالب منخفضة . د . ثقيلة .

٦ . سمك صفيحة من الكربون اللازمة لتخفيف شدة أشعة سينية طاقتها ٤٠٠ keV إلى ٢, ٠ من قيمتها

الأصلية هو :

أ . ٧, ٥ سم . د . ٣, ٣ سم .

ب . ١٠, ٦ سم . ج . ٣, ٥ سم .

- ٧ . عند معالجة الأطفال حديثي الولادة من اليرقان :
- أ . يتم تغطية عيني الطفل لكي يستغرق في النوم .
 ب . يمكن تعريضهم لأي لون من ألوان الضوء .
 ج . يعمل الضوء الأزرق على تسخين كريات الدم الحمراء مما يوقف تكسرها .
 د . يعمل ضوء الفلورسنت الأزرق على تحويل مادة البليروبين إلى مادة قابلة للذوبان في الماء .
- ٨ . يتحلل عنصر الراديوم إلى عنصر الرادون المشع :
- أ . مطلقاً جسيمات ألفا .
 ب . مطلقاً إشعاعات جاما .
 ج . مطلقاً جسيمات بيتا .
 د . مطلقاً بروتوناً ونيوترونأ .
- ٩ . يستخدم الذهب المشع في الطب النووي ؛ لأنه :
- أ . عنصر ثمين وجميل الشكل .
 ب . يمكن تشكيله حسب الحاجة .
 ج . لأن له فترة عمر النصف قصيرة نسبياً وطاقة الفونونات المنطلقة منه متوسطة .
 د . لأنه يطلق جسيمات بيتا بطاقة ٩٦ , ٠ keV .
- ١٠ . اكتسب عنصر اليود المشع شهرة واسعة في مجال العلاج بالعناصر المشعة ؛ لأنه :
- أ . يتحلل متحولاً إلى ^{125}Te عن طريق اكتساب إلكترون .
 ب . لأنه يستخدم في الزراعة الدائمة .
 ج . لأن له فترة عمر النصف طويلة نسبياً تمكن من حفظه في المخزون لأيام .
 د . كل ما ذكر .
- ١١ . يستخدم ليزر في مدى الأشعة فوق البنفسجية لتعديل النظر :
- أ . لأنه لا يمكن رؤيته ، وبالتالي لا يزعج الشخص المعالج .
 ب . لأن الأشعة في الجانب فوق البنفسجي من الضوء باردة ، ولا يشعر المريض بأية حرارة .
 ج . لأنها غير قادرة على اختراق الأنسجة لأعماق كبيرة .
 د . لأنها تنتشر إلى مساحات واسعة .
- ١٢ . لإزالة الوشم يستخدم :
- أ . لون الليزر المشابه للون الوشم .
 ب . أي لون متوفر فكلها عبارة عن طاقة ضوئية .
 ج . لون ضوء الليزر المقابل للون الوشم .
 د . لون الليزر الذي يشبه لون البشرة .

١٣ . كلما زاد عمق الأوعية الدموية المرغوب معالجتها :

- أ . يستخدم ضوء ليزر بطول موجة أكبر . ج . يستخدم ضوء الليزر المتوفر في العيادة .
ب . يستخدم ضوء ليزر بطول موجة أصغر . د . يستخدم ضوء الليزر الأصفر في كل الحالات .

١٤ . الفرق الأساسي بين التأثيرات الجسمية المبكرة والمتأخرة سببه :

أ . المبكرة تنتج عن تعرض الجسم لجرعة إشعاعية كبيرة أما المتأخرة فتنتج عن تعرض الجسم لجرعة إشعاعية صغيرة .

ب . تظهر التأثيرات المبكرة إذا تعرض الجسم لجرعة إشعاعية بمعدل زمني عال ، أما المتأخرة فتظهر إذا تعرض لجرعة إشعاعية بمعدل زمني منخفض .

ج . المبكرة تؤدي إلى الإصابة بالسرطان ، أما المتأخرة فلا تؤدي إلى الإصابة بالسرطان .

د . الآثار المبكرة تؤدي إلى طفرات وراثية أما المتأخرة فلا ينتج عنها طفرات وراثية .

١٥ . يعد التصوير بالأشعة السينية لأغراض التشخيص من أكبر المصادر الصناعية الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان :

أ . لأن أخذ صورة واحدة يحتاج إلى كمية أشعة كبيرة .

ب . لأن فني التصوير يكرر الصورة عدة مرات .

ج . لأن امتصاص الأشعة السينية لأغراض التشخيص عال في الجسم .

د . لكثرة عدد المرات التي يتعرض لها الإنسان لأخذ صورة أشعة .

١٦ . الخاصية التي يستند عليها مبدأ تصوير الجسم بالأشعة السينية ، هي أنها :

أ . لا تنحرف بتأثير المجال الكهربائي . ج . سرعتها في الفراغ تساوي سرعة الضوء .

ب . تنعكس عن السطوح المصقولة . د . تخترق المواد المختلفة بدرجات متفاوتة .

س٢ : اذكر استخدامات الأشعة السينية في الطب .

س٣ : كيف تفسر توليد الأشعة السينية من مادة معينة عند قذفها بالإلكترونات؟

س٤ : اشرح أثر سرعة الفيلم على كمية الأشعة التي يمتصها المريض أثناء أخذ صورة سينية له؟

س٥ : ناقش أثر التشتت على جودة الفيلم ، وكيف يمكن التقليل من أثره؟

س٦ : اشرح كيف يعمل جهاز الأمواج فوق الصوتية .

س٧ : قارن بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المستثار في إنتاج ضوء الليزر .

س٨ : ما العوامل التي تحدد لون الليزر (طول الموجة) المستخدم في العلاج الطبي؟ ناقش ذلك موضحاً بالأمثلة .

س٩ : لماذا يمكن استخدام بعض العناصر المشعة في العلاج على شكل زراعة دائمة في حين تزرع الأخرى لفترات

محدودة؟ ناقش ذلك من حيث فترة عمر النصف ، ونوع الأشعة التي يطلقها العنصر .

س١٠ : كيف تميز بين التأثيرات الجسمية للأشعة والتأثيرات الوراثية؟

س١١ : ما الأمور الواجب مراعاتها من قبل العاملين في الطب النووي لحماية أنفسهم من الأشعة؟

- ١ . ألفين، هاليرن؛ إرلباخ، إريك(٢٠٠١). المقررات الجامعية- الفيزياء الجامعية II، أكاديميات انترناشيونال .
- ٢ . جان خليل شقرا (١٩٩٧). الليزر والهولوجرام، أيام غراهام، المكتبة الشرقية، بيروت-لبنان .
- ٣ . الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (٢٠٠٤). الموسوعة العلمية المعاصرة، مكتبة لبنان ناشرون، لبنان .
- ٤ . الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (١٩٩٨). الموسوعة العلمية المعاصرة . مكتبة لبنان ناشرون، لبنان .
- ٥ . ادريس، محمد روبين؛ وآخرون (٢٠٠٢). اساسيات الفيزياء . دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان .
- ٦ . سويلم، محمد عطية (١٩٩٧). الفيزياء العامة، دار الفكر، الأردن .
- ٧ . شقرا، جان خليل (١٩٩٧). المحطات النووية لتوليد الطاقة، المكتبة الشرقية، بيروت-لبنان .
- ٨ . العارف، صفاء (٢٠٠١). فيزياء الأشعة الشخصية . الحامد للنشر والتوزيع، الأردن .
- ٩ . الكوفجي، محمود؛ غيث، عبد السلام (١٩٩٦). الكهرباء والمغناطيسية، دار الأمل، المخبري، دار المناهج، عمان .
- ١٠ . الفيزياء العامة (١٩٩٧). جامعة القدس المفتوحة .
- ١١ . الفيزياء المتقدمة . (١٩٩٨). المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق .
- ١٢ . واصف، رأفت كامل (٢٠٠٣). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة . دار النشر للجمعيات، القاهرة .
- ١٣ . ياسين، محمد الطالب نبي؛ محمد منصور (٢٠٠٣). الدارات الكهربائية، دار الأمل للنشر والتوزيع، الأردن .

- Das A.,Ferbel T.,and Farbel T. (2003) Introduction to Nuclear and Particle Physics, World Scientific Publishing, Second sdition,.
- E.E Christensen, T.S Curry, E. Dowdey (1978) An Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, 2nd ED Lea & Febieger.
- S. Bus hang (1975), Radio logic Sciences for Technologists, mos by
- F. W Sears(1960).College Physics: Mechanics: Mechanics, Heat, and Sound,3th ed,Addison.
- F .M. Khan (1984), The Physics of Radiation Therapy. Williams & Wilkins.
- G-Hewitt. (1989). Conceptual Physics, sixth edition paul. Scott,Foesman and Company.
- E. J. Hall (1978), Radiobiology for the Radiologist, 2nd ED .Harper & Row.
- Hallidy D., Resnick R., and Walker J. (2005). Fundamentals of physics, Wiley, seveth edition.
- Halliday, David (2001). Fundamentals of Physics, 6th ed.John Wiley & sons. Inc New York.
- Halliday, David (1997). Fundamentals of Physics, EXTENDED,5th ed.John Wiley & sons. Inc New York.
- J. Shapiro (1981), radiation Protection 2nd ED, Haward.
- H. E Johns and J.R Cunningham (1983), the Physics of Radiology 4th Ed. Thomas.
- M.Nelkon and p.pavker (1975). Advanced level Physics, Heinemann Education Books, London.
- Ohaniaw. Hans (1989). C.Physics,Decond,Edition,Expanded. W.W.Norton Company.
- Sears. Zemansky.Young (1979).College Physics, 4th, Addision-Wesley Publishing Company.
- J. A .Sorenson & M .E. Phelps (1980) Physics in Nuclear medicine, Grune & Strata.
- <http://wikipesia.org/wiki/Electromaghetic-linduc>.

المشاركون في اقرار كتاب الفيزياء للصف الثاني الثانوي العلمي والصناعي

عزيزة شرير	علا جابر	جنين	نابلس
زهر السمك	منيف الخطيب	هانى أبو بكر	بسام عمران
شمال غزة	ضواحي القدس	فوزي حمدان	خولة صبري
موسى شهاب	أميمة انعيرات	محمود قاروط	أيمن صبوح
عدنان رضوان	أشرف القرية	أركان حمد	محمد صوالحة
هشام ديب	محمد الشوامرة	جمال عابد	ناجح دراوشة
تيسير جنيد	أحمد جبر	قباطية	رضا الصدر
شوقي البسيوني	شيماء جبر	رياب جرار	جمال صالح
عبدالله أبو شباب	بيت لحم	حسام العارف	نعمت قمحية
إسماعيل شقورة	رائد صبحي	محمد نزال	ياسر حسين
تامر عليان	حازم خليل	حسن زينة	مرسي سمارة
محافظة الوسطى	علي ديرية	محمد بشارت	طولكرم
عاطف أبو عيش	تغريد بنورة	محمود العارضة	سالم طنجير
هيام البحصي	رينال البردويل	ضواحي القدس	باسمة بلبيسي
ابتسام التلباني	الخليل	أميمة انعيرات	حمدان دروي
عادل ثابت	محمد العطاونة	أشرف القرية	مرشد الساعد
عوض مسلم	محمد القصراوي	محمد الشوامرة	صفا أبو صفا
هشام حمدان	فهيم المرقطن	أحمد جبر	مظفر عطوط
رفع وخانيونس	عثمان المحتسب	شيماء جبر	نهى عطير
خالد ماضي	نايف اعمر	رام الله	قليلية
محمود يوسف	عفيفة الشرباتي	سامي الساييس	عيسى صبري
جهدا حرز الله	حنان مزين	ياسر مرار	وصال سلحج
سالم مصبح	جنوب الخليل	زاهر عطوه (الوزارة)	عبدالله صالح
زياد الحلبي	غازي منصور	ايهاب شكري (الوزارة)	سميح قشوع
سعيد عيسى	محمد روجي	احمد سباعرة (المناهج)	بسام قشوع
المؤلفون	عبد الحلیم عمر	أريحا	بسام عيد
د. عزيز شوابكة - جامعة بيرزيت	عريف أبو كرش	ايناس عارف	سفيان صويلح
د. وفاء خاطر - جامعة بيرزيت	أيمن الشروف	أحمد عودة	سلفيت
د. هشام هدمي - جامعة القدس المفتوحة	غزة	أنس ابراهيم	صالح عبد أحمد
محمد صباح - التقنيات التربوية-وزارة التربية	د. ماجد ذيب- الوزارة	رؤوفة المطري	خفش الخفش
سفيان صويلح - مشرف - قليلية	محمد مقداد- الوزارة	ناجية	معاوية ابراهيم
ايمن الشروف - مشرف - جنوب الخليل	د. روضة سالم	القدس	جميل أحمد
خديجة ابو سليمة - معلمة - رام الله	فتحي رضوان	عبد الرحمن حجاجلة	علا اشتية
ثروت طهبوب - معلم - القدس	نها شعادة	إبراهيم لافي	أنير يوسف
رشا عمر - المناهج	نجاة السنخل	سماح ياسيني	

