South Valley University

Faculty of Science, Qena

Physics Department

وقاية اشعاعية

ا د/ شعبان حرب

2023-2022

الفصل الخامس

التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة
Biological effects of the ionizing radiation

– مقدمة – فسيولوجية الإنسان وكيفية دخول المواد المشعة – الخلية الحية – تفاعلات الإشعاعات مع الخلية – التأثيرات الذاتية للإشعاعات – التأثيرات الوراثية للإشعاعات – أسئلة للمراجعة

5-1 مقدمة

يطلق اسم الإشعاعات المؤينة على جميع الإشعاعات النووية كالجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا، والإشعاعات الكهرومغناطيسية (الأشعة السينية وأشعة جاما) الصادرة عن الذرة أو النواة، والنيوترونات وغيرها. فالجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا (الإلكترونات والبوزترونات) تقوم بتأيين المادة مباشرة عند المرور فيها. أم بالنسبة لإشعاعات جاما والأشعة السينية، فتنتقل طاقتها أولا إلى إلكترونات المادة عن طريق العمليات الثلاثة المعروفة أو بعضها، ثم تقوم هذه الإلكترونات الثانوية بالتأيين وبالتالي تنتمي هذه الإشعاعات إلى المؤينة وإن كان التأيين يتم بطريقة غير مباشرة. وبالنسبة للنيوترونات فتنتقل طاقتها إلى المادة إما عن طريق التشتت المرن أو غير المرن على نوى ذرات المادة أو عن طريق امتصاص النيوترونات (خاصة الحرارية). وحيث أن جميع أجسام الكائنات الحية تحتوي على نسبة عالية جدا من الهيدروجين فإن طاقة النيوترونات تنتقل إلى نوى الهيدروجين (البروتونات)، ثم تقوم هذه الأخيرة بعملية التأين في الجسم. أما النيوترونات التي تمتص في نوى ذرات الجسم فتؤدي بدورها إلى تكوين نوى جديدة وانطلاق إشعاعات جاما التي تؤدي بدورها لتأيين ذرات أو جزيئات الجسم. بذلك تنتمي النيوترونات للأجسام المؤينة، وإن كان التأيين يتم بطريقة غير مباشرة.

وسواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر خـــارجي أم عن التلوث الداخلي للجسم (internal contamination) بالمواد المشـــعة فإنها تؤدي إلى تأثيرات بيولوجية في جسم الكائن الحي يمكن أن تظهر فيما بعد على شكل أعراض إكلينيكية (clinical symptoms). وتعتمـــد خطورة هذه الأعراض والفترة الزمنية اللازمة لظهورها علـــى كميـــة الإشعاعات الممتصة وعلى معدل امتصاصها.

وتنقسم التأثيرات البيولوجية للإشعاعات في الكائنات الحية إلـــى نوعين. الأول يعرف بالتأثيرات الذاتيـــة (somatic) وهـــي التـــأثيرات الناتجة في جسم نفس الكائن الحي الذي تعرض للإشـــعاعات. والثـــاني ويعرف بالتأثيرات الوراثية وهي التأثيرات الناتجة فـــي ذريـــة الكـــائن (أبنائه أو أحفاده) نتيجة للتلف الإشعاعي للأعضاء التناســـلية للشـــخص المتعرض.

5-2 فسيولوجية الإنسان وكيفية دخول المواد المشعة

إن معرفة فسيولوجية الإنسان (أي وظائف أعضاء جسم الإنسان وأجهزته المختلفة) ضرورية لفهم طرق وصول المواد المشعة لأعضاء الجسم وتوزعها داخله. وعموما، يتكون جسم الإنسان من عدة أعضـــاء وأجهزة يقوم كل منها بوظيفة معينة. وأهم الأجهزة اللازمة لفهم كيفيـــة توزع المواد المشعة في الجسم هي الجهاز الدوري المسؤول عن ضـــخ وتوزيع الدم، والجهاز التنفسي المسؤول عن التزود بالأكسجين والتخلص من الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، والجهاز الهضـــمي المسؤول عن هضم وامتصاص الغذاء.

5-2-1 الجهاز الدوري The circulatory system

هو عبارة عن دارة مغلقة من الأنابيب ينتقل خلالها الـــدم مـــن القلب إلى جميع أجزاء الجسم ثم يعود من هذه الأجزاء إلى القلب، الذي يدفع الدم غير المؤكسد إلى الرئتين حيث يـــتخلص مـــن ثـــاني أكســـيد الكربون ويتزود بالأكسجين، ثم يعود الدم المزود بالأكسجين إلى القلـــب

مرة ثانية ليوزعه على كافة أجزاء وأعضاء الجسم. والقلب عبارة عن مضختين. تقوم المضخة اليسرى بدفع الدم المحمل بالأكسجين والغذاء خلال الشرايين (arteries) إلى جميع أنسجة الجسم. وعند مرور الدم في الشعيرات الدموية تحدث عملية تبادل ينتقل خلالها الأكسجين والغذاء إلى الخلايا، في حين تنتقل الفضلات وثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الدم. ثم يعود الدم في الأوردة إلى القلب. وأما المضخة اليمنى من القلب فتضخ الدم خلال الشريان الرئوي إلى الرئتين حيث يطرد ثاني أكسيد الكربون ويتأكسد الدم ثم يعود من جديد خلال الأوردة الرئوية إلى القلب.

ويحتوي جسم الإنسان كامل النمو على حوالي 5 لترات من الدم وتدور هذه الكمية في الجسم مرة كل حوالي دقيقة. ويتكون الدم من ثلاثة أنواع من الخلايا، هي الخلايا الحمراء (erythrocytes) ، والخلايا البيضاء (lymphocytes + granulocytes) ، والصفائح الدموية (thrombocytes) ، وتقوم كل مجموعة من هذه الخلايا بوظيفة معينة. فتقوم الخلايا الحمراء بنقل الأكسجين والغذاء اللذان تحتاجهما خلايا الجسم إلى كافة الأعضاء والأنسجة. وتقوم الخلايا البيضاء بمهاجمة الميكروبات، لذلك فهي تعتبر بمثابة وسيلة للدفاع ضدها. وأما الصفائح الدموية فمهمتها تكوين الجلطة الدموية عند حدوث أي جروح لمنع حدوث النزيف.

2-2-5 الجهاز التنفسي The respiratory system

تتلخص عملية التنفس في التخلص من ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والحصول على الأكسجين اللازم لحرق الغذاء وتغذية الخلايا. وتحدث هذه العملية في الرئتين عند مرور الدم في شعيراتهما فتتم عملية التبادل في الشعيرات القريبة من الحويصلات الهوائية. ويحتاج الإنسان البالغ إلى حوالي 20 مترا مكعبا من الهواء في اليوم يستهلك نصفها تقريبا خلال ساعات العمل الثمانية.

وأثناء عملية التنفس يستنشق الإنسان مواد غريبة كثيرة تكون في حالة غازية أو في شكل غبار عالق في الهواء. فإذا كانت هذه المواد في

حالة غازية فإنها تمر مع الهواء إلى الدم بنسب كبيرة أو صغيرة حسب سرعة ذوبانها في الدم. وإذا كانت هذه المواد في شكل غبار فإنه يمكن أن يترسب جزء منها في الرئتين، ويخرج الجزء الآخر مع هواء الزفير أو أن يعلق في الجزء العلوي من الجهاز التنفسي، وبالتالي يتم بلعها مع الطعام. ويعتمد سلوك المواد المترسبة في الرئتين على سرعة ذوبانها فإذا كانت سريعة الذوبان فإنها تمتص بسرعة، (أي خلال ساعات محدودة) وتسري مع الدم. وأما إذا كانت بطيئة الذوبان فإنها تعلق في الرئتين لمدة طويلة قد تصل إلى عدة شهور. وبذلك، يتضح أن الجهاز التنفسي يعتبر أحد المداخل الرئيسة لدخول المواد المشعة للجسم ثم انتقالها للدم ومنه إلى أعضاء الجسم المختلفة.

3-2-5 الجهاز الهضمي The digestive system

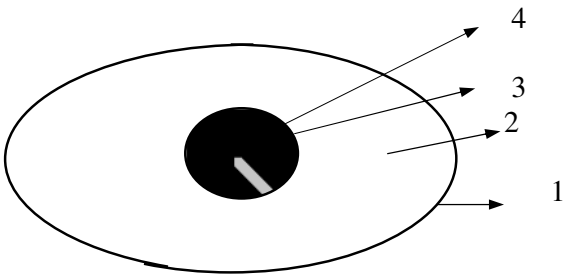
يتكون الجهاز الهضمي من القناة الهضمية المكونة بدورها من البلعوم والمريء والمعدة والإثنى عشر والأمعاء الدقيقة والأمعاء الغليظة وملحقاتها. ويتحول الغذاء في هذا الجهاز بفعل الإنزيمات الهاضمة إلى صور بسيطة ومناسبة لامتصاصه إلى الدم ومنه إلى خلايا الجسم، فتحصل بذلك على الطاقة اللازمة للاحتراق والغذاء اللازم للنمو وإعادة بناء الخلايا. وأما الغذاء الذي لم يمتص وكذلك البكتريا والخلايا الميتة التي تلفظها الأمعاء فتخرج جميعا في شكل فضلات صلبة (براز). وأما الفضلات السائلة وهي الفضلات والأملاح الذائبة في الماء التي تتكون داخل الخلية فيتم إخراجها عن طريق الكليتين (kidneys) والمسالك البولية.

وعند بلع المواد المشعة تمر مع الطعام عبر القناة الهضمية. فإذا كانت هذه المواد من النوع الذي يذوب في الماء أو بفعل الإنزيمات المختلفة فإنها تمتص مع الغذاء وتصل إلى الدم، الذي يوزعها على جميع أجزاء الجسم. ويمكن أن تتركز المواد المشعة في أعضاء معينة من الجسم. فعلى سبيل المثال يتركز السيزيوم 137 المشع في الأنسجة الرخوة في حين يتركز السترونشيوم 90 في العظام. وأما المواد غير القابلة للذوبان في الماء أو الأنزيمات فإنها تمر عبر الجهاز الهضمي كله

وتقوم بتشعيع (أي تعريضه للإشعاع) هذا الجهاز أثناء مرورهـــا فيـــه وخاصة الأمعاء.

5-3 الخلية الحية The cell

تتكون جميع أعضاء الكائنات الحية من وحدات دقيقة تعرف كل وحدة منها بالخلية. وأهم مكونات الخلية هي النواة والسائل المحيط بهـــا والمعروف باسم السيتوبلازم (cytoplasm) وجدار الخلية (شكل 5-1). ويعتبر السيتوبلازم بمثابة " المصنع " للخلية، في حين تحتوي النواة على جميع المعلومات اللازمة لقيام الخلية بوظيفتها وتكاثرها والمحافظة على خصائصها. فالسيتوبلازم يقوم بتحويل الغذاء الذي يصـــله إلـــى طاقـــة وجزيئات صغيرة. وتتحول هذه الجزيئات الصغيرة فيما بعد إلى جزيئات أكثر تعقيدا وهي التي تحتاجها الخلية لعمليات التجديد والانقســـام. أمـــا النواة فتحتوي علـــى الكروموســـومات (chromosomes) التـــي تعتبـــر تراكيب سلسلية طويلة من الجينات (genes) . وتحتوي خليـــة الإنســـان على حوالي 46 كروموسوما. وتتكون الجينات من حـــامض ديوكســـي ريبونيوكليك d-oxyribonucleic acid (DRA) ، ومن جزيئات بروتينية وتحمل هذه الجينات جميع المعلومات التي تحمل الصفات الوراثية.



شكل (5-1): الخلية

1- جدار الخلية 2- السيتوبلازم

3- جدار النواة 4- **النواة**

وتقوم الخلايا بالتكاثر للمحافظة على النوع وتعويض ما يموت منها. ويتراوح عمر الخلية (وبالتالي معدل انقسامها أو تكاثرها في الإنسان) بين عدة ساعات وعدة سنوات وذلك حسب نوع الخلية. ويحدث التكاثر عادة بطريقتين الأولى هي التكاثر اللاجنسي (mitosois) والأخرى هي التكاثر الجنسي (meiosis). ويحدث التكاثر اللاجنسي في خلايا الجسم العادية حيث يتضاعف عدد الكروموسومات طوليا ثم تنقسم الخلية الأصلية إلى خليتين متشابهتين تماما ومشابهتين للخلية الأصلية. أما التكاثر الجنسي فهو نوع خاص يحدث بين نوع من الخلايا تعرف باسم خلايا التكاثر الجنسي وهي الحيوان المنوي في الذكر والبويضة في الأنثى. ويحدث هذا النوع من التكاثر مرة واحدة خلال دورة حياة الخلية. فعند تلاقي الحيوان المنوي مع البويضة يتحدان وتتجمع كروموسوماتهما مكونين بذلك خلية جديدة تحتوي على الجينات (المواد الوراثية) من كلا الوالدين وتتكون بذلك البويضة المخصبة.

5-4 تفاعل الإشعاعات المؤينة مع الخلية

Interaction of the ionizing radiation with the cell

عند سقوط الإشعاعات المؤينة على الخلية فإنها تؤدي إلى تأين بعض مكوناتها وخصوصا جزيئات الماء، الذي يمثل الجزء الأكبر في أية خلية حية. ويؤدي تأين الماء إلى حدوث تغيرات كيميائية قد تؤدي بدورها إلى إحداث تغيرات في وظيفة الخلية. ويمكن أن تظهر نتائج هذه التغيرات في الإنسان في شكل أعراض إكلينيكية كالمرض الإشعاعي (radiation sickness)، أو إعتام عدسة العين (cataract)، أو في الإصابة بالسرطان على المدى الطويل.

وهكذا، تؤدي الإشعاعات المؤينة إلى إتلاف (damage) الخلية من خلال عدة مراحل مختلفة ومعقدة نوجزها فيما يلي:

5-4-1 المرحلة الفيزيائية The physical stage

تتم هذه المرحلة خلال زمن قصير جدا (حوالي 10^{-16} ثانية) من لحظة دخول الإشعاع أو الجسيم للخلية. وفي هذه المرحلة تنتقل الطاقة من النوع المعين من الإشعاعات إلى جزيئات الماء بالخلية ويحدث التأين طبقا للتفاعل التالي:

$$\text{Photon or particle} + H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$

حيث H_2O^+ هو أيون الماء الموجب، e^- هو الإلكترون السالب.

2-4-5 المرحلة الفيزيوكيميائية The physico-chemical stage

وتتم هذه المرحلة خلال زمن قصير (حوالي 10^{-6}) بعد حدوث التأين، ويحدث خلالها تفاعل الأيونات الموجبة والسالبة مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذا التفاعل عدة مركبات جديدة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب مكونا أيون هيدروجين موجب H^+ وأيون هيدروكسيد OH طبقا للمعادلة التالية:

$$H_2O^+ \longrightarrow OH + H^+$$

أما الإلكترون السالب e^- فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء متعادل مكونا بذلك أيون ماء سالب، أي أن:

$$e^- + H_2O \longrightarrow H_2O^-$$

ثم يتحلل هذا الأيون الأخير مكونا الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد السالب أي

$$H_2O^- \longrightarrow H + OH^-$$

وهكذا، تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين كل من أيون الهيدروجين الموجب H^+ ، وأيون الهيدروكسيد السالب OH^- ، وذرة الهيدروجين المتعادلة H ، وجزيء الهيدروكسيد المتعادل OH. وأيونات الهيدروجين H^+ والهيدروكسيد OH^- موجودة دائما في الماء ولا تشترك،عموما، في إحداث تفاعلات تالية. أما بالنسبة للنواتج الأخرى وهي الهيدروجين H ، والهيدروكسيد OH المتعادلة فهي معروفة بنشاطها الكيميائي الشديد. كذلك، يمكن أن يتكون ناتج آخر هو فوق أكسيد الهيدروجين الذي يعتبر عاملا مؤكسدا قويا وذلك طبقا للتفاعل التالي:

$$OH + OH \longrightarrow H_2O_2$$

5-4-3 المرحلة الكيميائية The chemical stage

تستغرق هذه المرحلة عدة ثوان بعد المرحلة السابقة، ويتم خلالها تفاعل نواتج المرحلة السابقة وهي ذرة الهيدروجين H وجزيء الهيدروكسيد OH وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 مع الجزيئات العضوية المختلفة في الخلية. فمثلا، يمكن أن تتفاعل هذه النواتج مع الجزيئات المعقدة التي تتكون منها الكروموسومات فتتحد معها أو تؤدي إلى تكسير تراكيبها المتسلسلة الطويلة ويمكن أن تحدث، بالتالي، بعض التغيرات في الجينات.

5-4-4 المرحلة البيولوجية The biological stage

يتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق وعدة عشرات السنوات. وتبدأ في هذه المرحلة ظهور تأثيرات التغيرات الكيميائية التي حدثت في الخلية. وبعض هذه التأثيرات هي:

أ- موت الخلية.
ب- منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل انقسامها.
ج- حدوث تغيرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثيا إلى الخلايا الوليدة.

وهكذا، فإن تأثيرات الإشعاع على الإنسان والكائنات الحية ناتجة عن إتلاف الخلايا. ويمكن أن تتجلى هذه التأثيرات في نفس الشخص المتعرض للإشعاع نتيجة إتلاف الخلايا العادية لجسمه. وتعرف هذه التأثيرات، عندئذ، بالذاتية (somatic effects) . كذلك، يمكن أن تنتقل هذه التأثيرات إلى الأبناء أو الأجيال التالية للشخص المتعرض، وتعرف التأثيرات، عندئذ، بالوراثية (hereditary effects) . وتنتج هذه التأثيرات الوراثية عن إتلاف خلايا الأعضاء التناسلية للشخص المتعرض للإشعاعات المؤينة.

5-5 التأثيرات الحتمية والعشوائية للإشعاعات المؤينة

The deterministic and stochastic effects

5-5-1 التأثيرات الحتمية للإشعاعات The deterministic effects

يتم في معظم أجزاء وأنسجة الجسم البشري تجدد الخلايا الحية، حيث تموت بعض الخلايا ويتم استعواضها بتكوين خلايا جديدة، حتى يستطيع النسيج أو العضو أن يقوم بوظائفه الحيوية. وعند تعرض الأنسجة والأعضاء لجرعات عالية من الإشعاع يموت عدد كبير من خلاياه، ولا تستطيع عملية إعادة بناء الخلايا الجديدة استعواض العدد الكبير المفقود من خلاياه، وبالتالي يحدث نقص كبير في خلايا العضو أو النسيج، الأمر الذي يؤدي إلى فقد العضو أو النسيج لوظائفه. فإذا كان النسيج أو العضو من الأجزاء الحيوية لاستمرار حياة الكائن يكون الموت هو النتيجة الحتمية لهذا الكائن.

وعموما، تنتج التأثيرات الحتمية للإشعاع نتيجة استنزاف عدد كبير من خلايا الأعضاء أو الأنسجة. ويكون احتمال حدوث هذه التأثيرات معدوما عند الجرعات المنخفضة، إلا أنها تحدث حتما عندما تصل جرعة التعرض إلى حد (أو عتبة) معين. ويمكن القول أن التأثيرات الحتمية لا تحدث إلا بعد تجاوز الحد المحدد لكل تأثير، ولا يحدث ذلك إلا عند جرعات عالية جدا. وتؤدي الجرعات الإشعاعية في هذه المنطقة إلى استنزاف وحشي لخلايا الجدار المبطن للأمعاء، حيث يحدث فيه تلف شامل فتهاجمه البكتريا بوحشية. لذلك، تعرف هذه المنطقة من الجرعات بمنطقة الوفاة الناتجة عن الالتهابات المعوية (gastrointestinal death).

ومن أمثلة التأثيرات الحتمية المرض المعروف باسم المرض الإشعاعي، وإعتام عدسة العين وهو المرض المعروف باسم المياه البيضاء أو الكتراكت (cataract) ، والإريثيما (erythema) أو احمرار الجلد، وغيرها.

تلف الجهاز المركزي العصبي (CNS)

عموما، لا توجد بيانات كافية عن الإنسان حول حد الجرعة (أو العتبة) التي يبدأ عندها تلف الجهاز العصبي المركـزي. إلا أن النتـائج التجريبية على الحيوانات أثبت ظهور أعراض تدل على حدوث بعـض التلف في الجهاز العصبي المركزي، وذلك عند جرعات عالية جدا (عدة عشرات من الغراي). لذلك، تسمى هذه المنطقة من الجرعات (التي تزيد على حوالي 30 غراي) بمنطقة الجهاز العصبي المركزي (CNS). ومع ذلك فقد ثبت أن الوفاة لا تتم عن هذه الجرعات في الحال، حتى بالنسبة للحيوانات التي تعرضت لما يزيد على 500 غراي.

الإريثيما Erythema

هناك تأثير آخر يظهر بمجرد التعرض للجرعات العالية نسـبيا. ويعرف هذا التأثير باسم الإريثيما (erythema)، وهو عبارة عن احمرار الجلد. والجلد معرض للتعرض للإشعاعات أكثر من أي نسيج آخر فـي الجسم خصوصا بالنسبة للإشعاعات السـينية ذات الطاقـة المنخفضـة وللإلكترونات (لأن قدرتها على الاختـراق صـغيرة). لـذلك، فـإن التعرض لجرعة مقدارها حوالي 3 غراي من الأشعة السينية ذات الطاقة المنخفضة يؤدي إلى إحداث مرض الإريثيما. وعند زيادة الجرعة يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات وغيرها.

وتجدر الإشارة إلى أن المناسيب الإشعاعية الناتجة عن محطـات الطاقة النووية أو عن وسائل التطبيقات الصناعية أو الطبية للإشعاعات التي يتعرض لها العاملون في الظروف العادية (ولـيس فـي ظـروف الحوادث) تكون عادة أقل بكثير من تلك المناسيب الإشعاعية الخطـرة، طالما تم الالتزام بمتطلبات الوقاية من الإشعاع. ولكن يمكن الحصـول على الجرعة الخطرة نتيجة وقوع حادث إشعاعي أو نووي (نتيجة سفور المصدر المشع مثلا خارج درعه أو دخول صالة مفاعل مـثلا بينمـا تكون إحدى قنواته مفتوحة وغير ذلك كثير). ومع ذلك فإن الجرعـات الصغيرة التي يحصل عليها العاملون أثناء عمليات التشغيل العادي يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات ضارة، ولكن على المدى البعيد، وهذا ما يعـرف بالتأثيرات المتأخرة.

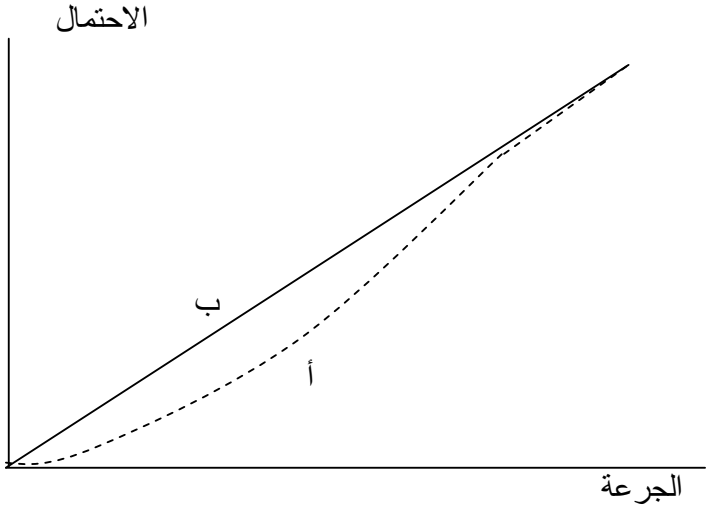
5-6-2 التأثيرات المتأخرة The late effects

أصبح الآن معلوما أن فنيي الأشعة أو المرضى الذين تم علاجهم أو تشخيص أمراضهم بجرعات إشعاعية عالية نسبيا معرضون للإصابة ببعض أنواع السرطان، أكثر من غيرهم ممن لم يتعرض للإشعاعات. ولقد أدت الدراسات الحديثة على المجموعات البشرية التي تعرضت للإشعاعات الناتجة عن القنابل الذرية أو عن الحوادث النووية مثل حادث تشرنوبل، أو المرضى الذين تم علاجهم بالإشعاعات النووية، أو عمال مناجم اليورانيوم، أو العاملين بالإشعاعات المؤينة كأجهزة الأشعة السينية والمعجلات المفاعلات النووية، إلى تأكيد قدرة الإشعاعات على تكوين السرطانات المتنوعة.

والسرطان هو عبارة عن تضاعف (تكاثر) الخلايا في العضو المعين بمعدل فوق المعدل الطبيعي. ويعتقد البعض أنه ناتج عن تلف جهاز التحكم في الخلية، مما يؤدي إلى انقسامها بمعدل أسرع من المعدل الطبيعي. وتحمل الخلايا الوليدة الصفة نفسها فتنقسم بدورها بالمعدل السريع نفسه، مما يؤدي إلى تكوين نسيج سرطاني يضر بالأنسجة العادية في العضو المعين.

وتقدير الفترة اللازمة لظهور الإصابة بالسرطان، بسبب التعرض للإشعاعات، عملية معقدة للغاية نظرا لعدم إمكانية فصل السرطان الناتج عن الإشعاعات المؤينة عن مثيله الناتج ذاتيا أو عن أسباب أخرى كالتعرض للمواد المسرطنة، على سبيل المثال. ولكن أظهرت بعض الإحصائيات أن السرطانات المختلفة قد تظهر خلال مدة تتراوح بين 5 ، 30 سنة من وقت التعرض للإشعاعات. ونظرا للصعوبات المختلفة المتعلقة بمدى الإصابة وزمن ظهورها فقد اتفق عالميا من وجهة نظر الوقاية الإشعاعية على أن أي جرعة من الإشعاعات – مهما قلت – تحمل معها احتمالا بالإصابة بهذا المرض. ولقد أمكن تقدير الإصابة بالمرض بالنسبة للمناسيب الإشعاعية العالية نسبيا. فقد تم عمل دراسات إحصائية دقيقة على المجموعات البشرية التي تتعرض لجرعات عالية من الإشعاعات كالأطباء وفنيي الأشعة وعمال مناجم اليورانيوم. إلا أن الدراسة الأكثر دقة هي تلك الدراسة

التي أجريت على ضحايا التفجيرين النوويين على كل من هيروشيما وناجازاكي في اليابان عام 1945 م . فقد تم دراسة العلاقة بين الجرعة الإشعاعية وبين نسبة الإصابة بالسرطانات المختلفة، وذلك عند الجرعات العالية. أما بالنسبة للجرعات المنخفضة فلا توجد بيانات إحصائية كافية عن الإنسان. لذلك، فقد استخدم امتداد المنحنى من الجرعات العالية إلى الجرعات المنخفضة وذلك كالمبين بالمنحنى أ على شكل (5-2). إلا أن اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) أوصت باستخدام الامتداد الخطي (المستقيم ب على الشكل 5-2) بدلا من المنحنى لتقدير احتمال الإصابة عند الجرعات المنخفضة. وتستخدم هذه البيانات حاليا لتقدير احتمال الإصابة عند التعرض للإشعاعات ذات المناسيب المنخفضة. وبناء على ذلك، فإنه إذا كان احتمال الإصابة بالسرطان عندما تتعرض مجموعة مكونة من 10000 شخص بالتساوي لجرعة مقدارها 10 ميللي سيفرت لكل شخص، هو خمسة أشخاص من بين هؤلاء العشرة آلاف، فإنه عند جرعة مقدارها 100 ميلي سيفرت لكل منهم يصبح احتمال الإصابة بالسرطان بين المجموعة هو 50 شخصا.



شكل (5-2)

العلاقة بين الجرعة الإشعاعية واحتمال الإصابة

وما زالت دراسة احتمال إصـــابة أعضـــاء الجســـم المختلفـــة بالسرطان الناتج عن الإشعاعات تحت المراجعة المستمرة.

ويقوم عدد من اللجان الدولية مثل اللجنة العلمية للأمم المتحدة ، لدراسة تأثير الإشعاع الذري UNSCEAR ، وبعض اللجـــان الوطنيـــة الأخرى في الولايات المتحدة الأمريكيـــة واليابـــان والمملكـــة المتحـــدة وغيرها، بدراسة مخـــاطر الإصـــابة بالســـرطانات المختلفـــة بســـبب الإشعاعات المؤينة، وكيفية توزع الإصـــابات علـــى أعضـــاء الجســـم البشري. ولهذا الغرض يتم استخدام نماذج مختلفة للتقويم ومصادر شتى للمعلومات وأنماط مختلفة للتعرض. ويبين جدول (5–1) أحدث تقـــدير للاحتمالات النسبية لإصابة الأعضاء المختلفة بالسرطان المميت في كل من اليابان والولايات المتحدة والمملكة المتحدة والصين، وفـــي مدينـــة بورتريكو. كما يبين هذا الجدول القيم المتوسطة لهذه الاحتمالات عـــبر

جدول (5–2): الاحتمالات النسبية للسرطانات المميتة في الأعضاء المختلفة في خمس دول والاحتمالات النسبية المتوسطة.

العضو	الاحتمال النسبي تبعا للدولة					
	اليابان	الولايات المتحدة	بورتريكو	المملكة المتحدة	الصين	متوسط الاحتمال
الإثني عشر	0.038	0.014	0.098	0.30	0.269	0.090
المعدة	0.291	0.033	0.136	0.050	0.224	0.144
القولون	0.180	0.320	0.206	0.225	0.103	0.27
الرئتين	0.174	0.205	0.141	0.274	0.097	0.179
الصدر	0.023	0.075	0.048	0.085	0.022	0.052
الخصيتين	0.015	0.031	0.016	0.031	0.020	0.022
المثانة	0.052	0.076	0.078	0.091	0.026	0.067
النخاع العظمي	0.077	0.096	0.127	0.064	0.079	0.089
باقي الأعضاء	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
المجموع	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

الدول الخمس، وذلك لأعمار تتراوح بين صـــفر ، 90 عامـــا، وكقـــيم متوسطة لكل من الذكور والإناث.

3-6-5 معامل المخاطر The risk factor

لتقويم احتمال الإصابة بالتأثيرات العشـــوائية اســـتخدم العلمـــاء مصطلح معامل المخاطر. ويقصد بهذا المعامل احتمال الإصابة بالمرض العشوائي عند التعرض لجرعة إشعاعية محددة. وبالنســـبة للأمـــراض السرطانية، مثلا، فإن معامل المخاطر هو احتمال إصابة الفرد بالسرطان عند تعرضه لجرعة مقدارها 1 سيفرت (100رم). لذلك، يقاس معامـــل المخاطر بوحدة 1/سيفرت.

وعند تغير مقدار الجرعة الفعالة التي يتعرض لها الفرد يتناســـب معامل المخاطر تناسبا طرديا مع هذه الجرعة، حيث يتناســـب احتمـــال إصابته بالسرطان مع مقدار الجرعة الفعالة تناسبا طرديـــا. فـــإذا كـــان احتمال الإصابة بالسرطان عند جرعة مقدارها 1 سيفرت هو 0.06 (أي 6 %) يصبح هذا الاحتمال عند جرعة مقدارها 2 سيفرت 0.12 ، (أي 12 %). وعندما تتعرض مجموعة بشرية عدد أفرادها n لجرعة فعالـــة متساوية مقدارها E لكل فرد، تصبح قيمة الجرعة الفعالة الجماعيـــة E_c هي:

$$E_C = E\, n$$

ولإيجاد احتمال الإصابة بالسرطان بين هذه المجموعة (أي عدد الإصابات السرطانية بين المجموعة) تستخدم العلاقة التالية:

عدد حالات الإصابة = متوسط الجرعة الفعالة للمتعرض

× عـــــــــــدد

المتعرضـــــين × معامـــــل

المخاطر.

ويبين جدول (5–2) معامل المخاطر السرطانية المختلفة عند التعرض لجرعة إشعاعية فعالة مقدارها 1 سيفرت طبقا لنموذجين من نماذج التقويم، وهما النموذج الضربي، ونموذج المعهد القومي للصحة بالولايات المتحدة الأمريكية (NIH)، حيث تتقارب نواتج معامل المخاطر للنموذجين.

مثال:

يتعرض 1000 عامل في مختبر إشعاعي لجرعة فعالة سنوية مقدارها 20 ميللي سيفرت. أحسب عدد الحالات التي تصاب بالسرطان المميت بين هذه المجموعة طبقا للنماذج المختلفة، إذا علمت أن كل واحد من هؤلاء العمال يعمل لمدة 40 عاما في نفس الظروف الإشعاعية.

الحل :

إجمالي الجرعة التي يتعرض لها الشخص الواحد طوال 40 عاما هي:

$$E = 20 \text{ (mSv/ year)} \times 40 \text{ years}$$
$$= 800 \text{ mSv}$$
$$= 0.8 \text{ Sv}$$

احتمال إصابة العامل الواحد P_1 بالسرطان طبقا للنموذج الضربي هي:

$$P_1 = 0.8 \text{ (Sv)} \times 0.1$$
$$= 0.08 = 8\ \%$$

عدد العاملين N_1 الذين يصابون بالسرطان المميت بين المجموعة هو:

$$N_1 = 0.08 \times 1000$$
$$= 80 \text{ workers}$$

احتمال إصابة العامل طبقا لنموذج معهد الصحة الوطني NIH هي:

$$P_2 = 0.8 \times 0.088$$
$$= 0.0704 = 7.04\ \%$$

عدد العاملين الذين يصابون بالسرطان المميت بين المجموعة طبقا لهذا النموذج هو:

$$N_2 = 0.0704 \times 1000$$
$$= 70.4 = 71 \text{ workers}$$

جدول (5–3): تقويم مخاطر الإصابة السرطانية
طبقا للنموذج الضربي، ونموذج المعهد الوطني الأمريكي للصحة.

الدولة	احتمال الإصابة لكل 1 سيفرت	
	النموذج الضربي	نموذج المعهد الوطني للصحة
اليابان	0.102	0.093
الولايات المتحدة	0.112	0.087
بورتريكو	0.095	0.102
المملكة المتحدة	0.129	0.097
الصين	0.063	0.060
متوسط الاحتمال	0.100	0.088

5–7 التأثيرات الوراثية للإشعاعات
The hereditary effects of radiation

سبق الإشارة إلى أن التأثيرات الوراثية للإشعاعات تنتج عن تلف الخلايا التناسلية. ويؤدي هذا التلف إلى مجموعة تغيرات – تعرف باسم التغيرات الوراثية (genetic mutations) في المادة الوراثية للخلية. وقد سبقت الإشارة إلى تكاثر يحدث نتيجة إخصاب البويضة (ovum) بالحيوان المنوي (sperm) ، وبالتالي تحصل البويضة المخصبة على مجموعة متكاملة من المواد الوراثية من كلا الوالدين. وبذلك، يحصل الطفل على مجموعتين متناميتين من الجينات (genes) بواقع مجموعة من كل والد. وقد وجد أن أحد الجينات يكون هو الغالب (أو السائد) في

حين يكون الآخر منحسرا. والجينات الغالبة هي التي تحـــدد الصـــفات الوراثية الشخصية.

أما الجينات المنحسرة فلا تقوم بدور في تحديـــد الصـــفات، إلا عندما يجتمع اثنان من الجينات من النوع المنحسر. ولما كانـــت معظـــم الأمراض تكمن في الجينات المنحسرة، لذلك فهي لا تكشف عن نفســـها إلا عندما يكون لدى الوالدين نفس هذه الجينـــات المنحســـرة. وتجـــدر الإشارة إلى أن التغيرات الوراثية الذاتية (أي بدون تأثير الإشعاع) هي المسئولة عن الجزء الأعظم من الخمسمائة مرض التـــي يعـــاني منهـــا العالم.

5-7 أسئلة مراجعة

1- اشرح وسائل دخول المواد المشعة لأعضاء الجسم المختلفة.

2- اشرح المراحل الأربعة لحدوث التلف الإشعاعي للخلية.

3- قارن بين التأثيرات الذاتية والوراثية للإشعاعات المؤينة.

4- ما هي التأثيرات المبكرة للإشعاعات على الإنسان؟.

5- ناقش مدى خطورة الجرعات المختلفة مـــن 1 إلـــى 10 جراي على الإنسان.

6- ما هي التأثيرات المتأخرة للإشعاعات؟، وكيـــف يمكـــن تقدير احتمال الإصابة بهذه التأثيرات؟.

7- ما هو معامل الخطورة للإصابة السرطانية؟، وما مقداره للنماذج المختلفة؟.

8- ما هي التأثيرات المتأخرة للإشعاعات؟، وكيف يمكن تقدير احتمال الإصابة بها؟.

9- احسب عدد المهددين بالإصابة بالسرطان نتيجة حادث نووي، أدى إلى تعرض 600000 فرد بواقع 10 ميللي سيفرت لكل منهم إذا كان معامل المخاطر هو 6×10^{-2} لكل سيفرت. (الحل: 360 إصابة سرطانية مميتة)

الفصل السادس

أجهزة المسح الإشعاعي وقياس الجرعات
Radiation survey meters and dosimeters

– مقدمة – أهم خصائص جهاز المسح الإشعاعي – أجهزة المسح الإشعاعي – أجهزة قياس الجرعة الشخصية – أسئلة ومسائل

6-1 مقدمة

تعتبر عملية المسح الإشعاعي ورصد التلوث وقياس معدل الجرعات الإشعاعية، في المختبرات أو الأماكن التي تحتوي على مصادر مشعة أو أجهزة مصدرة للإشعاعات المصادر محكمة الإغلاق أو المواد المشعة المفتوحة أو أجهزة الأشعة السينية أو المعجلات النووية أو المفاعلات، أحد أهم أعمال الوقاية الإشعاعية. ويستخدم لهذا الغرض أجهزة خاصة تعرف باسم أجهزة المسح الإشعاعي (radiation survey meters) لقياس الجرعات الإشعاعية الممتصة أو معدل هذه الجرعات في تلك الأماكن. كما تستخدم أجهزة أخرى خاصة برصد تلوث الأسطح أو الهواء في الموقع يطلق عليها أجهزة رصد التلوث. وتعتمد جميع هذه الأجهزة في عملها على استخدام أحد أنواع الكواشف الغازية أو الوميضية أو غيرها التي ورد وصفها في الفصل الرابع، وذلك بغرض الكشف عن النوع المعين من الإشعاعات، وتحديد سيولته (أي تدفقه) ومعدل الجرعة الناتجة عنه، وبالتالي تحديد الفترة الزمنية التي يمكن أن يمكث الإنسان في المكان المعين خلالها.

وعموما، فإنه لا يمكن استخدام جهاز واحد للكشف عن الإشعاعات المختلفة، وإجراء المسح الإشعاعي وقياس معدل الجرعات الناتجة عنها ورصد التلوث، وذلك لاختلاف طبيعة الكاشف باختلاف نوع الإشعاعات وكمياتها وطاقاتها، وكذلك باختلاف الغرض المخصص له هذا الجهاز. ولذلك، تستخدم عدة أنواع مختلفة من أجهزة المسح

الإشعاعي وتعيين الجرعات أو معدلاتها أو لرصد التلوث، تبعا لنوع الإشعاعات وكمياتها وطاقاتها في المكان المعين . كذلك، توجد عدة أنواع من وسائل قياس الجرعات الشخصية(personal dosimeters) مثل شارة الفيلم الحساس (film badge) والمقياس الحراري الوماض (TLD) وأقلام قياس الجرعات الشخصية والمقاييس الإلكترونية للجرعة الشخصية. ويحمل الشخص الذي يتعامل مع الإشعاعات أو المواد والمصادر المشعة هذه الوسائل بغرض تحديد الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها شخصيا. ويعني هذا الفصل بالتعرف على بعض أنواع أجهزة المسح الإشعاعي وقياس الجرعات الشخصية ورصد التلوث الإشعاعي.

6-2 أهم خصائص جهاز المسح الإشعاعي

Characteristics of Survey Meter

يجب أن تتوفر في جهاز المسح الإشعاعي بعض المتطلبات والشروط من أهمها ما يلي:

أ- بساطة التركيب:

تؤدي بساطة تركيب الجهاز إلى سهولة الاستخدام وإمكانية إجراء الصيانة وتبديل الأجزاء والعناصر المختلفة وخاصة العناصر الإلكترونية عند تلفها.

ب- المتانة:

يجب أن يتحمل الجهاز العمل في مختلف الظروف حيث أنه عادة ما يُستخدم الجهاز الواحد بواسطة عدد كبير من الأشخاص الذين يختلف أسلوب تداولهم للأجهزة.

ج- خفة الوزن وإمكانية حمله ونقله بسهولة:

وذلك نظرا لأن الجهاز يستخدم لإجراء المسح الإشعاعي في أماكن مختلفة. كذلك، يجب أن يزود الجهاز بمنبع تغذية خفيف كالبطاريات الجافة.

د- دقة البيانات والموثوقية:

حيث إن البيانات غير الدقيقة يمكن أن تعرض حياة العاملين للخطر. ولهذا الغرض يجب معايرة الجهاز بصفة منتظمة ودورية، بل وقبل كل استخدام إن أمكن، وذلك بواسطة المصدر المعياري الخاص بالجهاز، حيث يوضع هذا المصدر المعياري أمام الكاشف مباشرة في المكان المخصص لذلك، وتؤخذ قراءة الجهاز لهذا المصدر المعياري، بحيث تكون مطابقة للقراء السابقة باستخدام هذا نفس المصدر المعياري.

هـ الحساسية

يجب أن يتميز الجهاز بدرجة عالية من الحساسية للنوع المعين من الإشعاعات، وذلك لإمكانية الكشف عن الكميات الصغيرة منها.

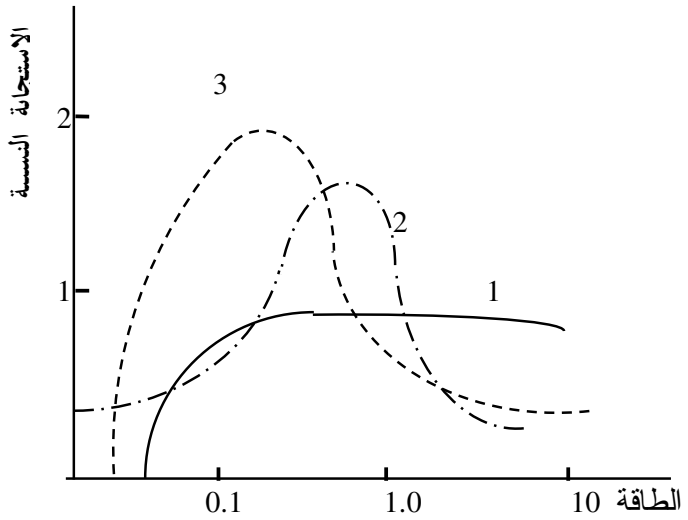
3-6 أجهزة المسح الإشعاعي The survey meters

يتكون جهاز المسح الإشعاعي، عموما، من كاشف ودارة إلكترونية لتكبير التيار أو الجهد وجهاز لقياس شدة التيار الكهربائي الناتج عن الإشعاعات أو عدد النبضات الجهدية في وحدة الزمن. وتزود بعض هذه الأجهزة (التي تعمل بالنظام النبضي) بجهاز صوتي يصدر صوتا كلما تم تسجيل نبضة فيه، وبالتالي يمكن التنبه إلى زيادة المستوى الإشعاعي صوتيا، ودون الحاجة إلى النظر إلى قراءة الجهاز بين وقت وآخر. وتستخدم كواشف مختلفة لأغراض المسح الإشعاعي، وهي غرف التأين أو العدادات التناسبية أو عدادات غايغير- ميولر أو الكواشف الوميضية. ويعتمد حجم الكاشف المستخدم ومواصفاته على نوع الإشعاعات المطلوب الكشف عنها وإجراء المسح لها وعلى كثافة المجال الإشعاعي الذي يخضع للقياس.

فبالنسبة للإشعاعات السينية وإشعاعات جاما يفضل استخدام جهاز بكاشف عبارة عن غرفة التأين، علما بأن بعض الكواشف الأخرى صالحة للاستعمال مع هذه الإشعاعات. وأما بالنسبة للكشف عن

جسيمات بيتا وألفا فإنه من المفضل استخدام عداد تناسبي أو عداد غايغر. في حين يمكن استخدام أي من غرفة التأين المزودة بطبقة رقيقة من البور أو العداد التناسبي المزود بغاز ثالث فلوريد البور (BF_3) للكشف عن النيوترونات الحرارية. كذلك، تستخدم العدادات التناسبية المزودة بمادة غنية بالهيدروجين مثل البولي إيثيلين، وذلك للكشف عن النيوترونات السريعة، حيث ينطلق البروتون من هذه المادة عند اصطدام النيوترون الساقط به، فيقوم البروتون بإجراء التأيين داخل الغاز.

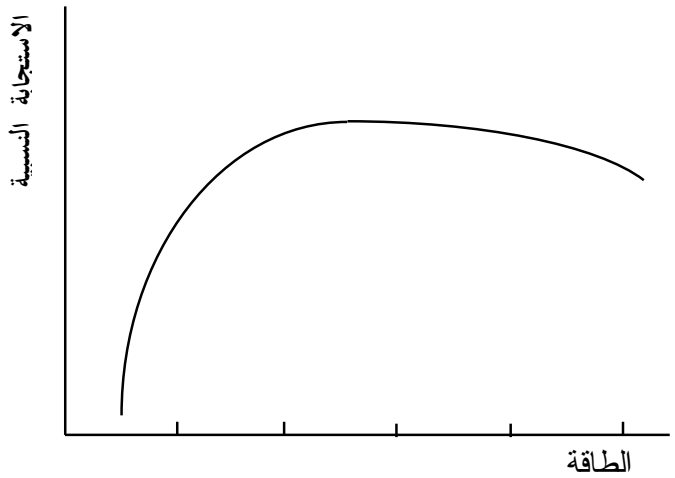
وحيث أن التأيين الناتج في معظم الكواشف يعتمد اعتمادا كبيرا على طاقة الجسيمات النووية فإنه يجب أن تتميز الأجهزة المخصصة لقياس معدل الجرعة من الإشعاعات المختلفة باستجابة صحيحة للطاقة. ويعرف مدى الاستجابة النسبي للطاقة على أنه عبارة عن نسبة شدة التيار الناتج في الجهاز عند الطاقات المختلفة إلى شدة التيار عند طاقة محددة (أو نسبة عدد النبضات في وحدة الزمن عند الطاقات المختلفة إلى عددها عند الطاقة المعينة)، مع بقاء عدد الجسيمات الساقطة أو



شكل (6-1)
منحنيات الاستجابة لكل من غرفة التأين (1) وعداد غايغر ميولر (2)

والكاشف الوميضي (3)، بالنسبة للإشعاعات السينية وإشعاعات جاما

الإشعاعات ثابتاعند جميع الطاقات. ويبين شكل (6-1) منحنيات الاستجابة للطاقة لكل من غرفة التأين (المنحنى 1) وعداد غايغر ميولر (المنحنى 2) والكاشف الوميضي، والكاشف الوميضي (المنحنى 3) وذلك بالنسبة للأشعة السينية وإشعاعات جاما. ويتضح من هذا الشكل أن غرفة التأين تتميز باستجابة ثابتة للطاقة في مدى واسع من الطاقات (من حوالي 0.3 حتى حوالي 10 ميغا إلكترون فولت). أما بالنسبة لكل من عدادات غايغر والكواشف الوميضية فهي تتميز باستجابة عالية عند الطاقات المتوسطة (من حوالي 300 حتى حوالي 1000 ك.إ.ف) في حين يقل مدى الاستجابة بسرعة عند الطاقات العالية أو المنخفضة، وبذلك يمكن أن تعطي هذه العدادات قراءات خاطئة عند هذه الطاقات، يلزم تصحيحها.



شكل (6-2)
منحنى الاستجابة لعداد غايغر ميولر عند استخدام مرشح من الرصاص

وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن الحصول على استجابة نسبية شبه ثابتة بالنسبة لعدادات غايغر وذلك عند استخدام مرشحات من مواد مختلفة كالرصاص وغيره، أمام طرف العداد. فعند عمل مرشح من الرصاص (سمكه 0.3 سم) والصفيح (سمكه 1.5 سم) يتخذ منحنى الاستجابة كدالة من الطاقة الشكل المبين بالمنحنى (6-2).

ولمعايرة أجهزة المسح الإشعاعي الخاصة بالكشف عن إشعاعات جاما يستخدم مصدر مشع من نظير السيزيوم 137 الذي تبلغ طاقته662 ك.إ.ف أو من نظير الراديوم 226 ، الذي تعتبر طاقته الفعالة في حدود 0.8 ميغا إلكترون فولت. فعند استخدام الجهاز لقياس معدل الجرعة الإشعاعية لإشعاعات ذات طاقات مختلفة فإنه يمكن أن تكون قراءة الجهاز من هذه الإشعاعات الجدية أقل أو أكثر من معدل الجرعة الحقيقي لها. لذلك، فقد تم حديثا إدخال بعض التعديلات على كل من عدادات غايغر والكواشف الوميضية بحيث تعطي استجابة أفضل في مدى أوسع من الطاقة (من 0.1 وحتى 2 ميغا إلكترون فولت).

6-3-1 أجهزة المسح الإشعاعي ذات غرفة التأين

Ionization chamber survey meters

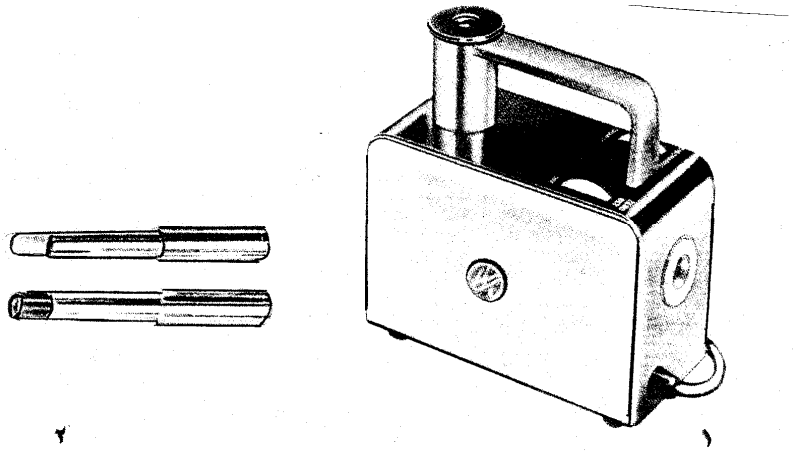
يمكن تصميم أنواع مختلفة من غرف التأين لاستخدامها للكشف عن جميع أنواع الإشعاعات ولكنه يفضل استخدام غرف التأين في أجهزة المسح الإشعاعي للكشف عن إشعاعات جاما. ولما كانت حساسية غرف التأين صغيرة للغاية بالمقارنة بالعدادات التناسبية أو عدادات غايغر فإنها تفضل عند إجراء المسح الإشعاعي لمستويات إشعاعية عالية، بحيث لا يقل معدل الجرعة عن عدة عشرات ميكروسيفرت/ساعة حيث تعطي غرف التأين نتائج عالية الدقة عند هذه المعدلات. ويرجع السبب في تفضيل غرفة التأين إلى ثبات استجابتها للطاقة في حدود واسعة، مما جعلها من أنسب الكواشف لأغراض المسح وأعمال الوقاية الإشعاعية. وتعمل الغرفة لهذه الأغراض، عموما، بنظام قياس متوسط

شدة التيار الناتج وليس بالنظام النبضي. ولعل من المفيد استعراض بعض أنواع أجهزة المسح الإشعاعي التي تستخدم غرف التأين ككاشف.

أ- مقياس التعرض (بالرينتجن) على شكل مكثف
The condenser R- meter

يعتبر هذا الجهاز من أدق الأجهزة المستخدمة لقياس التعرض (exposure) التراكمي (بالرينتجن) لإشعاعات جاما والأشعة السينية. ويتميز باستجابة ثابتة للطاقة ودقة عالية مما جعله من بين الأجهزة المستخدمة للمعايرة. ويتكون هذا الجهاز (شكل 6-3) من جزأين رئيسيين هما:

1- جهاز الشحن والقراءة (charger- reader device)
2- مجموعة من غرف التأين مجهزة بوسيلة التحام واتصال بجهاز الشحن والقراءة .



شكل (٦ - ٣)

مقياس التعرض (بالروينتجن) على شكل مكثف

١ ـ جهاز الشحن والقراءة

٢ ـ مجموعة من غرف التأين

ويحتوي جهاز الشحن والقراءة على تجويف خاص تدخل فيه غرفة التأين. ويتم شحن غرفة التأين إلى أن يصل مؤشر الجهاز لتدريج الصفر. ويظهر كل من المؤشر والتدريج خلال العدسة العينية للميكروسكوب المركب على تدريج الجهاز. ويعني وصول المؤشر إلى الصفر أن الغرفة أصبحت مشحونة تماما. بعد ذلك، يتم تعريض الغرفة للإشعاعات السينية أو إشعاعات جاما، ويعاد إدخالها من جديد إلى التجويف. ويتم أخذ القراءة التي يقف عليها المؤشر بعد الإدخال. وتقيس هذه القراءة قيمة الجهد الناتج عن دخول الإشعاعات وتأيينها للغاز داخل الغرفة أي أنها تقيس قيمة التعرض بالرينتجن (أو أجزائه) مباشرة.

وغرفة التأين في هذا الجهاز هي عبارة عن مقياس كهربائي (electrometer) بسيط يحصل فيها كل من القطب المركزي والجدران على شحنات كهربية مختلفة (أي إلكترونات أو أيونات). وتصنع

جدران الغرفة عادة من مادة مكافئة تماما للهواء الجوي (العدد الـذري المتوسط للهواء الجوي هو Z = 7.64)، وهي البكلايـت أو النـايلون. وتشكل الغرفة على شكل كستبان ولذلك تعرف باسم غرفـة الكسـتبان (thimble chamber). وحيث إنه يجب أن يحدث التـأين فـي الهـواء الموجود داخل الغرفة فإنه يجب استخدام غرف بأحجام مختلفة وبسـمك مختلف للجدران، وذلك للفوتونات ذات الطاقات المختلفة. ويوجـد فـي الوقت الحالي ثلاثة أنواع من الغرف يختص كل نوع منها بمدى معـين لطاقة الإشعاعات وهي:

1- غرفة الإشعاعات ذات الطاقة المنخفضة من 6 حتى 35 ك.إ.ف.
2- غرفة للإشعاعات ذات الطاقة المتوسطة مـن 35 حتـى 400 ك.إ.ف.
3- غرفة للإشعاعات ذات الطاقة العاليـة مـن 400 حتـى 1400 ك.إ.ف.

ويوجد من كل نوع من هذه الأنواع الثلاثة غرف ذات حساسيات مختلفة حسب شدة المصدر أو المستوى الإشعاعي الموجود في المكـان المعين.

وتتراوح دقة قياس التعرض بهذا الجهاز ما بين 2 إلـى 10 % عند الاستخدام السليم وتعتبر هذه الدقة دقة عالية نسبيا.

ب- جهاز قياس معدل التعرض(رينتجن/ساعة)

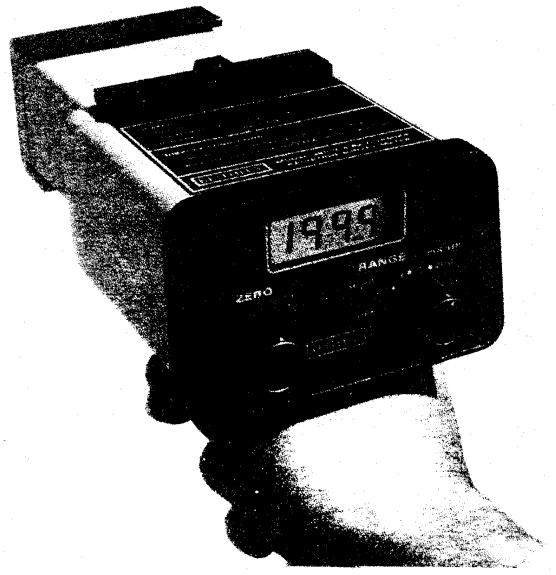
Cutie pie survey meter (R/h)

يستخدم هذا الجهاز لقياس معدل التعرض الناتج عن إشـعاعات جاما أو الأشعة السينية. وقد تم تطوير أنواع منه لقياس معدل التعـرض الناتج عن جسيمات بيتا. ويعرف الجهاز عند بعض العاملين في مجـال الوقاية الإشعاعية باسم "Cutie pie" . وعلى الرغم من أن هذا الاسم يعبر عن الماركة التجارية للأجهزة التي تنتجها إحدى الشركات المتخصصـة

في إنتاج هذا النوع من الأجهزة. إلا أنه شاع استخدامه بالنسبة لأجهزة قياس معدل التعرض التي تستخدم غرفة التأين ككاشف للإشعاعات. وتملأ غرفة التأين في هذا الجهاز بالهواء الجوي. ويتميز هذا الجهاز باستجابة ثابتة على مدى كبير للطاقة. ومن أهم عيوبه أنه قليل الحساسية. لذلك، فإنه يستخدم للمسح الإشعاعي وتحديد معدل التعرض في حالة وجود مستويات إشعاعية عالية. ويبين شكل (6-4) صورة فوتوغرافية للجهاز.

6-3-2 أجهزة مسح إشعاعي بعداد تناسبي أو عداد غايغر
Proportional or G-M type survey meters

يعتبر هذا النوع من الأجهزة من أهم أجهزة المسح بالنسبة لجسيمات بيتا أو إشعاعات جاما ذات المستويات الإشعاعية المنخفضة. ويرجع السبب في ذلك إلى إمكانية عمل كواشف من هذا النوع بأحجام وأشكال مختلفة وإلى الحساسية الفائقة لعدادات غايغر بالمقارنة بغرف التأين. لذلك، تستخدم هذه الأجهزة للكشف عن التلوث بالمواد المشعة أو للبحث عن المصادر المشعة المفقودة مهما قلت شدتها الإشعاعية فضلا عن استخدامها الرئيسي لقياس معدل التعرض للمستويات الإشعاعية الضعيفة. وتعمل جميع أنواع الأجهزة التي تستخدم العداد التناسبي أو عداد غايغر ككاشف بالنظام النبضي. كذلك، تزود معظم الأجهزة بجهاز تنبيه سمعي يطلق صوتا قصيرا عند تسجيله لكل جسيم أو فوتون. وبذلك، يمكن الحكم سمعيا على شدة المستوى الإشعاعي بالإضافة إلى مقياس معدل التعرض الموجود بالجهاز الذي يبين معدل العد (أي عدد النبضات في الدقيقة).



شكل (6–4)
جهاز قياس معدل التعرض

وعموما لا تستخدم مثل هذه الأجهزة في قياس معدل التعرض في المستويات الإشعاعية العالية بسبب طول الزمن الميت لعداد غايغر.

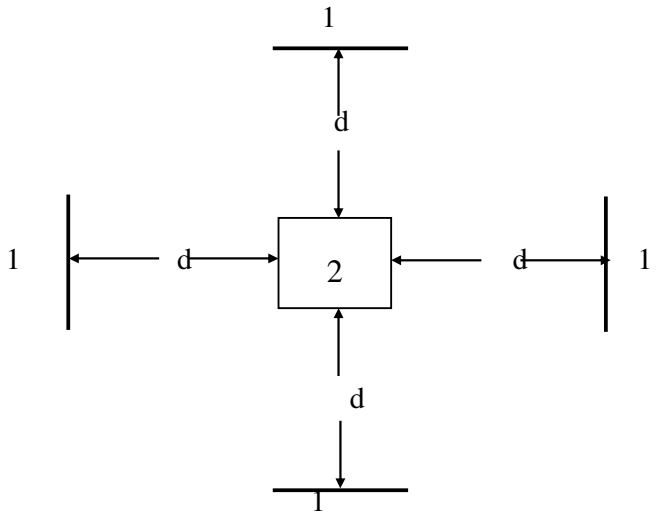
6-3-3 معايرة أجهزة المسح الإشعاعي

يتم معايرة جميع أجهزة المسح الإشعاعي من قبل المنتج عند إنتاجها. ولكن نظرا لتغير خصائص مكونات الجهاز وأجزائه المختلفة فإنه يجب إعادة معايرة هذه الأجهزة بصفة دورية، وذلك للتأكد من صحة قراءتها. وتعتبر إعادة المعايرة أمرا أساسيا وفي غاية الأهمية وخصوصا بالنسبة للأجهزة التي تستخدم عدادات غايغر حيث يجب معايرتها بواقع مرة كل ثلاثة شهور وبعد إجراء أية صيانة للجهاز، وكذلك عند كل تغيير للبطاريات.

وتتم معايرة أجهزة المسح الإشعاعي، وذلك بوضع الكاشف في وضع هندسي معين بالنسبة للمصدر المشع. ويفضل أن يكون المصدر المستخدم للمعايرة من النوع الذي يصدر نفس الإشعاعات المطلوب إجراء مسح إشعاعي لها. وغالبا ما يستخدم لهذا الغرض مصادر معلومة النشاط الإشعاعي من السيزيوم 137 والكوبلت 60 والراديوم 226. ويجب أن تتطابق ظروف المعايرة مع الظروف الفعلية لاستخدام الجهاز، وأن تتم المعايرة لجميع التداريج الموجودة على الجهاز، وذلك باستخدام مصادر متنوعة النشاط الإشعاعي. كما يجب أن تتم المعايرة على عدة مسافات بين المصدر والكاشف، للتأكد من صحة القياسات (وذلك بمطابقة النتائج مع قانون التربيع العكسي للمسافة) علما بأن المسافات المفضلة تتراوح بين حوالي 1 -3 متر.

وفي بعض الأحيان يفضل إجراء المعايرة في مجال إشعاعي متجانس وذلك باستخدام أربعة مصادر لها نفس الشكل والنشاط الإشعاعي، مع وضع هذه المصادر الأربعة في وضع كالمبين في شكل (6-5) حيث يكون المجال بين المصادر الأربع شبه متجانس (أي شدة الإشعاعات تكاد تكون ثابتة). وعند إجراء المعايرة أو القياسات فإنه يجب أن تؤخذ الخلفية الإشعاعية في الحسبان. كذلك، فإنه في حالة

استخدام الكواشف النبضية يجب أن يوضع في الاعتبار الـزمن الميـت للكاشف، حيث إن هذا الزمن يؤدي إلى قراءة أقل من القراءة الحقيقيـة. لذلك، يجب تصحيح القراءات بالنسبة للأزمنة الميتة والخلفية الإشعاعية وتحديد نسب الخطأ في القراءة.



شكل (6-5)
المعايرة في مجال إشعاعي متجانس
1- 4 مصادر 2- كاشف

6-4 أجهزة رصد التلوث الإشعاعي

The contamination monitors

قد لا يحتاج العاملون بالمواد المشعة المفتوحة لأجهـزة مسـح إشعاعي لتقدير الجرعات الخارجية التي يتعرضون إليها نظرا لأن مقدار هذه الجرعات الخارجية من إشعاعات جاما أو النيوترونات مـن هـذه المصادر قد يكون صغيرا. إلا أن المخاطر الرئيسة قد تتمثل في تلـوث بيئة العمل مثل الأسطح والمعدات، أو وجود تسرب للمادة المشعة مـن المصدر محكم الإغلاق، أو تلوث الهواء في منطقة العمل بالمواد المشعة

خاصة الطيارة منها مثل اليود 131. ويمثل تلوث الأسطح أو الأيدي أو الملابس أو الهواء مخاطر جسيمة يمكن أن تزيد كثيرا على مخاطر التعرض الخارجي، في حين لا يمكن الكشف عن هذا التلوث باستخدام أجهزة المسح الإشعاعي سابقة الذكر.

ويتكون جهاز رصد التلوث، شأنه شأن جهاز المسح الإشعاعي، من كاشف وجهاز إلكتروني لتكبير جهد النبضة وتسجيلها، حيث تعمل جميع أجهزة رصد التلوث بالنظام النبضي. إلا أن أجهزة رصد التلوث تتميز بحساسية فائقة بالمقارنة بأجهزة المسح الإشعاعي عالية الحساسية.ويعود السبب في ذلك إلى أن الكواشف المستخدمة في أجهزة رصد التلوث هي من النوع المخصص للكشف عن جسيمات ألفا أو بيتا (أي الجسيمات المشحونة فقط) دون غيرها. ولا تعتمد أجهزة رصد التلوث على قياس إشعاعات جاما أو النيوترونات حتى لو كان المصدر المعين يشع هذه الإشعاعات أو الجسيمات. فكفاءة الكاشف لتسجيل هذه الإشعاعات أو النيوترونات صغيرة للغاية (قد تقل عن 1 لكل 100000 فوتون أو نيوترون). فضلا عن ذلك فإن هذه الإشعاعات قد تكون صادرة من مصادر بعيدة للغاية وتصل للكاشف نظرا لقدرتها الفائقة على اجتياز المادة. أما بالنسبة للجسيمات ألفا وبيتا فتبلغ كفاءة الكاشف لتسجيل هذه الجسيمات 100 % طالما دخل الجسيم إلى داخل الكاشف. لذلك، تجهز كواشف رصد التلوث بنافذة كبيرة ورقيقة للغاية للسماح بمرور هذه الجسيمات. وبمجرد دخول الجسيم المشحون داخل الكاشف فإنه يسجل، وبالتالي يمكن الكشف عن وجود التلوث.

وتجدر الإشارة إلى أن معظم الكواشف المستخدمة لرصد التلوث تستخدم عدادات غايغر– ميولر ذات النافذة الرقيقة. ويقاس التلوث عادة بعدد البضات المسجلة في وحدة الزمن، ولتكن الدقيقة. كذلك، تتفاوت حساسية الكاشف المخصص لرصد التلوث تفاوتا كبيرا. فالأجهزة التي تصلح لقياس تلوث باليود 131، على سبيل المثال، مقداره 1000 بكرل/سم^2 يصعب استخدامها لقياس حد التلوث الذي يبلغ 0.4 بكرل/سم^2. وتتوقف حساسية جهاز (أو كاشف) رصد التلوث على

مساحة سطح النافذة، فكلما زادت مساحة هذا السطح زادت كفاءة (حساسية) هذا الكاشف.

6-5 أجهزة قياس الجرعات الشخصية

Personal dosimeters

يستخدم المسح الإشعاعي عامة لتحديد المستوى الإشعاعي ومعدل التعرض في المكان أو المختبر المعين، وذلك لمنع وجود العاملين في هذه الأماكن، أو لتحديد الفترة القصوى لمكوثهم فيها، وبالتالي لتلافي التعرض للجرعات الخطرة. ولكن لا يستخدم المسح الإشعاعي كطريقة دقيقة لتحديد الجرعات الإشعاعية الشخصية التي يتعرض لها العاملون في هذه الأماكن خلال مدة زمنية معينة وذلك للأسباب التالية:

أ- اختلاف معدل الجرعة باختلاف الظروف داخل المختبر كتغير سيولة أو طاقة الإشعاعات.
ب- تنقل العاملين من مكان إلى آخر داخل المختبر واختلاف معدل التعرض باختلاف هذه الأماكن.

ولتحديد الجرعة الفعالة التي يتعرض لها العامل في فترة زمنية معينة مثل هذه الأماكن فإنه يجب أن يحمل (يرتدي) العامل وسيلة تعرف باسم مقياس الجرعة الشخصية (personal dosimeter). ويكثر استخدام ثلاثة أنواع من هذه الوسائل، وهي الفيلم الحساس، ومقياس الجرعة الجيبي، ومقياس الجرعة باوميض الحراري (TLD)

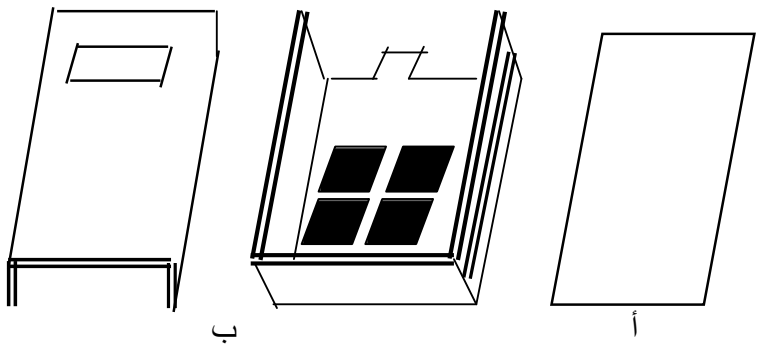
1-5-6 شارة الفيلم الحساس The film badge

حتى فترة قصيرة كانت شارة الفيلم الحساس من أكثر الوسائل انتشارا كمقياس للجرعة الشخصية. ويتكون هذا المقياس من فيلم حساس يوضع داخل حافظة خاصة من البلاستيك تعرف بشارة الفيلم الحساس (film badge). ويختلف نوع الفيلم المستخدم باختلاف الغرض المخصص له. وتستخدم الآن في العديد من دول العالم أفلام (radiation

(monitor خاصة بالكشف عن الإشعاعات. وهذه الأفلام عبارة عن شريحة رقيقة من البلاستيك مغطاة من كلا الوجهين بالمستحلب الحساس، بحيث يكون المستحلب على أحد الأوجه من النوع السريع في حين يكون من النوع البطيء على الوجه الآخر. والغرض من ذلك هو إمكانية قياس الجرعات الفعالة في مدى واسع من الجرعات. فالمستحلب السريع (fast emulsion) يمكن من قياس الجرعات الفعالة إذا تراوحت هذه الجرعات بين 50 ميكروسيفرت، 50 ميللي سيفرت. أما إذا زادت جرعة الإشعاعات الفعالة عن 50 ميللي سيفرت فإن هذا يؤدي إلى نزع طبقة المستحلب السريع من الفيلم عند معالجته (تظهيره وتثبيته) في شكل قشرة وتبقى طبقة المستحلب البطيء (slow emulsion) الأقل حساسية. وبذلك، يمكن قياس الجرعات الفعالة التي تتراوح قيمتها بين 50 ميللي سيفرت وحوالي 10 سيفرت. ويستخدم أحيانا زوج من الأفلام الحساسة بدلا من استخدام فيلم واحد ذي وجهين مختلفي الحساسية. وعند تظهير الفيلم وتثبيته تصبح مناطق الفيلم التي مرت الإشعاعات خلالها معتمة. وتتناسب درجة العتامة مع كمية الإشعاعات من كل نوع. وتقاس درجة العتامة باستخدام جهاز خاص يعرف بمقياس العتامة (densitometer) . وبعد ذلك يمكن تحديد الجرعة الإشعاعية لكل نوع من الإشعاعات، وذلك بالرجوع إلى منحنى العلاقة بين الجرعة الإشعاعية ودرجة العتامة (راجع الفصل الرابع).

أما الحافظة (شكل 6-6) فهي عبارة عن علبة رقيقة من البلاستيك تحتوي على عدة فتحات ونوافذ، وذلك لتثبيت عدة قطع فلزية تعمل بمثابة المرشحات للكشف عن نوع الجسيمات (جسيمات بيتا، وإشعاعات جاما، والأشعة السينية والنيوترونات). ويكون الغرض من بعض هذه المرشحات أحيانا تمييز طاقة إشعاعات جاما والإلكترونات. ويتم الكشف عن جسيمات بيتا وتحديد كميتها وطاقتها في جزء الفيلم الواقع تحت الفتحة الموجودة في الحافظة وذلك حيث لا يحدث امتصاص لهذه الجسيمات وتصل إلى الفيلم الحساس فتترك فيه أثرها. أما إشعاعات جاما فتقاس في الجزء الموجود تحت النافذة المثبت عليها مرشح من الرصاص. حيث أن دور هذه القطعة هو إحداث أي من التأثير الكهروضوئي أو تأثير كومبتون أو إنتاج الأزواج في الرصاص، لتصل

هذه الإلكترونات إلى الفيلم الحساس وتترك أثرها عليه. وأما النيوترونات فيتم قياسها بمعرفة فرق العتامة بين الجزأين الموجودين تحت مرشح الرصاص السابق ومرشح آخر مكون من كل من الرصاص والكادميوم.



شكل (6-6)

أ- الفيلم الحساس

ب- الحافظة ذات النوافذ والغطاء

فالنيوترونات الحرارية تتفاعل مع مادة الكادميوم وينتج عن هذا التفاعل انطلاق إشعاعات جاما γ أي تفاعل (n , γ) ، وتؤدي إشعاعات جاما الصادرة عن هذا التفاعل إلى زيادة العتامة تحت المرشح المكون من الرصاص والكادميوم عن العتامة الناتجة تحت المرشح الرصاصي. كما يوجد في الحافظة مرشحان آخران مصنوعان من مادة البلاستيك نفسها، يبلغ سمك الأول 300 ميللي جرام/سم^2 وسمك الثاني 50 ميللي جرام/سم^2 . والغرض من هذين المرشحين تحديد الفرق في العتامة بين جزء الفيلم الموجود تحت الفتحة والجزء الموجود تحت المرشح 50 ميللي جرام/سم^2 بغرض معرفة طاقة جسيمات بيتا وإجراء تصحيحات الطاقة اللازمة. كذلك الأمر بالنسبة للمرشح البلاستيك الذي يبلغ سمكه 300 ميللي جرام/سم^2 فإنه يستخدم لتصحيح قيمة الجرعة من إشعاعات جاما كدالة من طاقتها.

وتحاط أطراف الحافظة وكذلك الفواصل بين المرشحات المختلفة بأسلاك أو فواصل من الرصاص، وذلك لإمكان تحديد وفصل المناطق المختلفة عن بعضها البعض. كذلك، يمكن أن توضع داخل الحافظة شريحة رقيقة من مادة الإنديوم. وتعمل هذه الشريحة كمقياس للتعرض في حالة الحوادث الإشعاعية. فإذا كانت الجرعة الفعالة من النيوترونات الحرارية أعلى من 10 ميللي سيفرت (أي أعلى من 1 رم) فإن هذه الجرعة كافية لتنشيط مادة الإنديوم وتحويلها إلى مادة مشعة تصدر جسيمات بيتا. ويمكن، بالتالي، قياس النشاط الإشعاعي (الشدة الإشعاعية) لشريحة الإنديوم باستخدام أحد الكواشف والعدادات وتحديد الجرعة الناتجة عن هذا التعرض.

6-5-2 مزايا وعيوب الأفلام الحساسة

تتميز الأفلام الحساسة كوسيلة لقياس الجرعة الشخصية الممتصة بعدة مزايا وعدة عيوب. **وأهم مزايا الأفلام الحساسة هي:**

أ- مرافقتها للشخص بصفة مستمرة حيث يثبتها الفرد على ملابسه وهي بذلك وسيلة دائمة لتسجيل الجرعات المتراكمة بالنسبة له.

ب- رخص ثمنها وعدم الحاجة إلى معرفة الشخص الذي يحملها بخصائصها الفنية.

ج- إمكان إعادة قراءتها في أي وقت عند حفظها حيث أن درجة العتامة لا تتغير بمرور الوقت وبذلك تعتبر وثيقة رسمية للتعرض.

ومن الجانب الآخر فإن للأفلام الحساسة بعض العيوب أهمها ما يلي:

أ- يستخدم الفيلم عادة لمدة طويلة (حوالي شهر أو أكثر)، ويتم إرساله بعد ذلك للإظهار والتثبيت والعد (أي قياس العتامة). لذلك، فإن تحديد قيمة الجرعة الممتصة لا يتم

إلا بعد مرور فترة طويلة (حوالي شهر) من بداية استخدام الفيلم، ويمكن أن يكون الشخص قد تعرض لجرعة أعلى من الحدود المسموح بها خلال هذه الفترة.

ب- قيمة الجرعة الممتصة لا تكون دقيقة وإنما تقريبية.

ج- ضرورة حفظ الأفلام بعيدا عن الحرارة والضوء وعدم حمل الشارة في الأماكن الدافئة كالسيارة مثلا حيث تتغير خصائص المستحلب الحساس.

د- عدم استخدام الفيلم الواحد لمدة طويلة (أكثر من شهر).

3-5-6 مقياس الجرعة بالوميض الحراري

The thermo-luminescent dosimeter (TLD)

يستخدم مقياس الجرعة بالوميض الحراري لتحديد الجرعات الإشعاعية التي تتراكم في الجسم وكذلك لتحديد معدل التعرض.

ويستخدم لهذا الغرض كاشف خاص هو عبارة عن مادة لافلزية متبلورة من فلوريد الليثيوم (LiF) أو فلوريد الكالسيوم (CaF). وعند سقوط الإشعاعات على مثل هذه المواد (المعروفة بالمواد الوماضة حراريا) تنتقل طاقة هذه الإشعاعات إلى إلكترونات البلورة، فتنتقل هذه الإلكترونات بالتالي إلى شريحة (band) أعلى للطاقة. ومن أهم خصائص المواد الوماضة الحرارية أن الإلكترونات التي تنتقل إلى شريحة أعلى تبقى في هذه الشريحة، طالما أن درجة حرارة المادة في حدود معينة. وعند تسخين المادة إلى درجة حرارة عالية (حوالي 200°م - 300°م) تعود الإلكترونات إلى شريحتها الأصلية مع انبعاث فرق الطاقة بين الشريحة الأعلى والشريحة الأدنى في شكل ومضة ضوئية مرئية. وتتناسب كمية الضوء الصادر من المادة عند تسخينها مع كمية الطاقة الممتصة من الإشعاعات الساقطة. لذلك، فإنه عند قياس كمية الضوء الصادر بأي من الوسائل المعروفة (أنبوب التضاعف الضوئي مثلا) يمكن تحديد الجرعة الإشعاعية الممتصة. وعند تبريد المادة بعد تسخينها تصبح صالحة لإثارة إلكتروناتها من جديد وتستخدم بالتالي مرة أخرى كمقياس للجرعة.

وتتميز مادة فلوريد الكالسيوم بحساسية شديدة للإشعاعات. إلا أن استجابتها لتغير طاقة الإشعاعات تعتبر ضعيفة. وأما مادة فلوريد الليثيوم فتتميز باستجابة عالية للطاقة رغم أن حساسيتها ضعيفة.

ومن أهم مزايا مقاييس الجرعة بالوميض الحراري ما يلي:

أ- إعادة استخدامها بعد التبريد.
ب- سهولة تحديد الجرعة الإشعاعية بصفة دورية، فالأمر لا يحتاج إلا لتوفر فرن حراري (تصل درجة الحرارة فيه حتى 250°م) وجهاز لقياس كمية الضوء الصادرة.
ج- استجابتها للطاقة في مدى واسع لتغير طاقة الإشعاعات الساقطة بالمقارنة بالفيلم الحساس.
د- إمكانية استخدامها لعدة أسابيع متصلة دون قراءة حيث أنها لا تفقد الطاقة المختزنة فيها إلا بالتسخين.
هـ- عدم الحاجة إلى معرفة النواحي الفنية الخاصة بها من قبل الشخص الذي يستخدمها.

إلا أن من أهو عيوب هذا النوع من مقاييس الجرعة ما يلي:

أ- زيادة التكلفة بالمقارنة بالأفلام الحساسة.
ب- عدم إمكانية حفظ مقدار الجرعة الممتصة وذلك لضياع المعلومات المختزنة فيها بمجرد التسخين وقياس كمية الضوء الناتج وتسجيله.

وفي السنوات الأخيرة انتشر استخدام مقاييس الجرعة بالوميض الحراري في العديد من المختبرات وحلت هذه الوسيلة محل الأفلام الحساسة أو كوسيلة إضافية لتحديد الجرعة الشخصية التي يتعرض لها العامل خلال فترات زمنية قصيرة (بصفة يومية أو أسبوعية أو شهرية أو أطول، تبعا للجرعة الفعالة المتراكمة). أما شارة الفيلم فكانت تستخدم، عادة، لتعيين الجرعات الإشعاعية المتراكمة لمدة طويلة (لمدة شهر تقريبا).

6-5-4 ألواح أثر النيوترونات السريعة
Fast neutron track plates

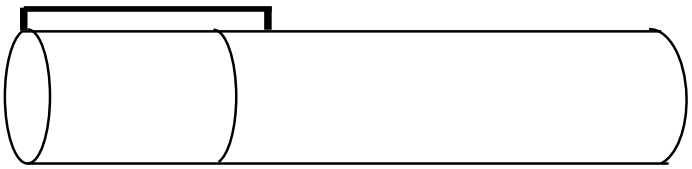
ألواح أثر النيوترونات السريعة عبارة عن فيلم حساس من نوع خاص موضوع داخل حافظة (أو ماسك)، وهي تشبه إلى حد كبير مقياس الجرعة ذي الفيلم الحساس. ويستخدم هذا المقياس لتحديد الجرعة الشخصية للنيوترونات السريعة، حيث تتفاعل هذه النيوترونات مع المادة الحساسة للفيلم وينتج عن هذا التفاعل خروج بروتونات. وتقوم هذه البروتونات بتأيين مادة المستحلب الحساسة ويظهر أثر البروتون عند إظهار وتثبيت الفيلم. ويتم قياس عدد هذه الآثار باستخدام ميكروسكوب خاص. ويعتبر عدد الآثار في 1سم^2 بمثابة مقياس للجرعة الإشعاعية الناتجة عن النيوترونات السريعة.

ويمكن استخدام هذا المقياس لقياس جرعات إشعاعية من النيوترونات السريعة يتراوح مقدارها بين 1 ميللي سفرت، 1 سيفرت. ومن أهم عيوب هذا المقياس صعوبة عملية عد الآثار تحت الميكروسكوب والتكلفة الكبيرة – نسبيا – لهذه العملية. وفضلا عن ذلك، فإن هذا النوع من الأفلام يعتبر حساسا بالنسبة لإشعاعات جاما. فعند امتصاصها لجرعة إشعاعية من إشعاعات جاما في حدود 100 ميللي سيفرت تصبح عملية عد الآثار النيوترونية مستحيلة نظرا لحدوث خلفية شديدة العتامة في الفيلم كله بسبب إشعاعات جاما.

6-5-5 مقياس الجرعة الجيبي The pocket dosimeter

مقياس الجرعة الجيبي هو عبارة عن وسيلة لقياس التعرض الشخصي (بالرينتجن). ويشبه هذا المقياس (شكل 6-7) قلم الحبر من حيث الشكل والحجم. ويتركب من غرفة اسطوانية صغيرة تحتوي على قطبين أحدهما مثبت والآخر متحرك. ويصنع القطب المتحرك من خيط رفيع من مادة الكوارتز . وعند شحن القطبين بشحنة كهربية من

نفس النوع يتنافر القطبان فيبتعد القطب المتحرك بعيدا بفعل قوة التنافر. وعند سقوط الإشعاعات داخل غرف التأين وخاصة إشعاعات جاما أو الإشعاعات السينية تؤدي هذه الإشعاعات إلى تأيين الغاز داخل الغرفة. ونتيجة للشحنة المتكونة من التأين تقل الشحنة على كل من القطبين فتقل قوة التنافر بينهما مما يؤدي إلى تحرك خيط الكوارتز الرفيع من إلى وضعه الطبيعي. بذلك، يشبه عمل هذا المقياس جهاز قياس الشحنة الكهربائية، ولذلك يطلق عليه اسم مقياس الكهرباء ذات الخيط الكوارتزي.



شكل (6-7)
مقياس الجرعة الجيبي

ولإمكان قراءة قيمة التعرض في أي وقت تصنع إحدى قواعد الأسطوانة من الزجاج الشفاف، وذلك للسماح لدخول الضوء منها وتصنع القاعدة الأخرى من مادة شفافة، يوجد عليها تدريج (يحدد مقدار التعرض بالرينتجن أو أجزائه)، ومركب عليها عدسة لتكبير هذا التدريج لإمكان تحديد القراءة بدقة. وتتم قراءة المقياس بتوجيهه نحو الضوء والنظر من خلال العدسة فيظهر ظل خيط الكوارتز فوق التدريج. وبذلك، يمكن تحديد التعرض مباشرة وفي أي وقت.

ويتم شحن المقياس باستخدام منبع جهد (يبلغ جهده 1.5 فولت)، إلى أن يصبح خيط الكوارتز أبعد ما يكون عن الخيط الثابت، وتكون هذه القراءة هي القراءة الصفرية. وعند تعرض الغرفة للإشعاعات يتحرك الخيط إلى وضعه الطبيعي مبينا مقدار التعرض.

وتوجد أنواع مختلفة من هذه الأفلام تتراوح حساسيتها بين 1 ميللي سيفرت وحوالي 100 سيفرت. وتجدر الإشارة إلى أن بقاء هذا المقياس مدة طويلة من الزمن (عدة أشهر) يؤدي إلى تسرب الشحنة التي شحن بها ويعطي بذلك قراءة للتعرض دون حدوث أي تعرض. لذلك، فإنه يجب معرفة مقدار التسرب الأسبوعي في حالة عدم التعرض وذلك بغرض تحديد التعرض الفعلي للإشعاعات.

6-6 أسئلة للمراجعة

1- اذكر أهم المتطلبات التي يجب توفرها في أجهزة المسح الإشعاعي.

2- ما هي الأجزاء الأساسية التي يتكون منها جهاز المسح الإشعاعي للإشعاعات المختلفة؟.

3- ما هي أهم مزايا أجهزة المسح الإشعاعي التي تستخدم غرف التأين؟.

4- قارن بين أجهزة المسح الإشعاعي التي تستخدم غرفة تأين أو عداد غايغر ككاشف للإشعاعات.

5- اشرح بالتفصيل مكونات مقياس التعرض، ودور كل من هذه المكونات واشرح كيفية عمله.

6- اذكر مكونات مقياس معدل التعرض ودور كل من هذه المكونات واشرح كيفية عمله.

7- لماذا تجب معايرة أجهزة المسح الإشعاعي؟، وكيف يمكن تنفيذ المعايرة ؟.

8- ما هي مكونات جهاز رصد التلوث؟، وما هي أهم الفروق بينه وبين جهاز المسح الإشعاعي؟.

9- اشرح تركيب شارة الفيلم الحساس، وما هو الغرض من الفتحات المختلفة ؟.

10- كيف يمكن استخدام شارة الفيلم الحساس لقياس الجرعة الممتصة للإشعاعات المختلفة؟.

11- ما هي أهم مزايا وعيوب شارة الفيلم الحساس؟.

12- كيف تستخدم ألواح الأثر النيوتروني للكشف عن النيوترونات السريعة وتقدير جرعتها؟.

13- ما هو مبدأ عمل مقياس الجرعة الوماض حراريا؟، اذكر مزايا وعيوب هذا المقياس.

14- صف تركيب مقياس الجرعة الجيبي، وكيف يستخدم لقياس الجرعات الشخصية؟.

15- قارن بين كل من مقياس الجرعة الجيبي والحراري الوماض وشارة الفيلم الحساس.

الفصل السابع

وحدات قياس الجرعات الإشعاعية
Units of radiation dosimetery

-مقدمة – كثافة تدفق الإشعاعات – التعرض – الجرعة الإشعاعية – التكافؤ بين الرينتجن والراد – التأثير البيولوجي داخل جسم الإنسان – معدل الجرعة – أسئلة ومسائل

7 –1 مقدمة

عند سقوط كمية من الإشعاعات الضوئية أو الحرارية على مادة ما تنتقل طاقة هذه الإشعاعات إلى المادة فتزداد درجة حرارتها. أما بالنسبة للكائنات الحية (بما فيها الإنسان) فلا ترتفع درجة حرارتها نظرا لقيام جسم الكائن الحي بفقد هذه الطاقة الممتصة في تبخير الماء من الجسم، فتبقى درجة حرارته ثابتة. ومع ذلك، يحس الإنسان بالإشعاعات الضوئية والحرارية، وبذلك يستطيع تفاديها بالابتعاد عن مصادرها. أما بالنسبة للإشعاعات المؤينة فلا تحس بها الكائنات الحية على الإطلاق، وذلك نظرا لقدرتها العالية على اختراق جسم الكائن الحي وفقدها طاقتها عن طريق تأيين جزيئات الماء الموجودة في الجسم. فعند تعرض جسم الكائن لكمية من الإشعاعات السينية أو إشعاعات جاما أو الجسيمات النووية فإنه لا يحس بها في حينه، مهما زادت كميتها.

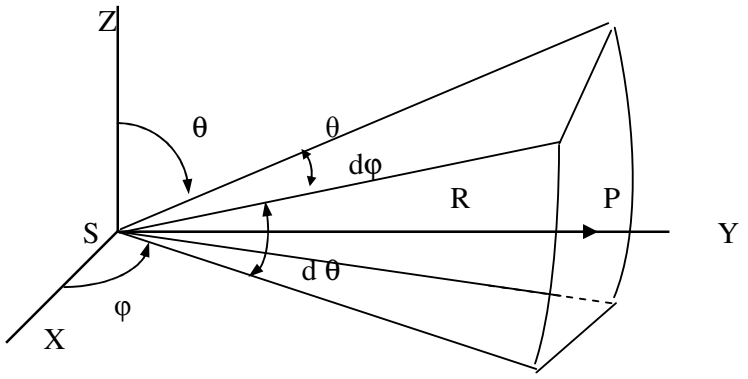
لذلك، فإنه لوقاية الكائنات الحية عموما – بما فيها الإنسان – من التعرض للإشعاعات المؤينة يجب الكشف عن وجودها وتحديد كمياتها ومستوياتها الإشعاعية في جميع الأماكن التي يمكن أن توجد فيها. ويختص هذا الفصل بالتعرف على الوحدات المستخدمة لقياس كميات الإشعاعات (المستويات الإشعاعية) والجرعات الإشعاعية.

7-2 كثافة تدفق الإشعاعات (أو معدل سيولة الإشعاعات)

Radiation flux density (or fluence rate)

كثافة التدفق للجسيمات النووية أو الإشعاعات عند نقطة ما هو عبارة عن عدد الجسيمات المارة خلال مساحة قدرها 1 سم^2 (وحدة المساحات) في الثانية عند هذه النقطة. ويمكن حساب كثافة التدفق للمصادر المشعة ذات الأشكال المختلفة. فإذا كان حجم المصدر صغيرا بالنسبة للمسافة حتى النقطة المطلوب تحديد كثافة التدفق عندها فإنه يمكن اعتبار هذا المصدر نقطيا (أي علي شكل نقطة مادية صغيرة). ويوضح شكل (7-1) كيفية حساب كثافة التدفق ϕ الناتج عن مصدر نقطي نشاطه الإشعاعي S عند نقطة ما P تبعد مسافة R عن مركز المصدر S ، وبحيث تكون هذه المسافة R أكبر بكثير من نصف قطر المصدر. فكثافة التدفق عندما يوضع المصدر في مركز كرة يمر سطحها بالنقطة P هي عبارة عن:

$$\phi = S / A \qquad (7\text{-}1)$$



شكل (7-1)
كيفية حساب كثافة التدفق عند نقطة P من مصدر نقطي

حيث S شدة المصدر (بوحدة جسيم/ثانية)، A مساحة سطح الكرة التي يكون المصدر في مركزها ونصف قطرها R. وحيث إن مساحة سطح الكرة التي نصف قطرها R هي:

$$A = 4 \pi R^2$$

تكون كثافة التدفق $\Phi\phi$(بوحدة جسيم/سم^2.ثانية) هي:

$$\phi = S / 4 \pi R^2 \qquad (7\text{-}2)$$

أي أن كثافة التدفق ϕ عند نقطة معينة تتناسب تناسبا طرديا مع شدة المصدر S وعكسيا مع مربع المسافة R حتى النقطة المعينة. وتجدر الإشارة إلى أنه وفقا للوحدات المعيارية العالمية الجديدة (SI) يطلق الآن على كثافة تدفق الجسيمات مصطلح جديد هو "معدل سيولة الجسيمات أو الفوتونات".

وتعرف هذه العلاقة الأخيرة بقانون التربيع العكسي لمعدل سيولة الجسيمات (أو لكثافة التدفق) من مصدر نقطي.

ويمكن إيجاد معدل سيولة الجسيمات الناتجة عن المصادر ذات الأشكال المختلفة كالمصادر الممتدة طوليا أو مساحيا أو حجما.

وفي كثير من الأحيان يصدر المصدر أنواعا مختلفة من الإشعاعات، أو يصدر إشعاعات من نفس النوع ولكن بطاقات مختلفة. عندئذ، يجب تعيين معدل سيولة (كثافة تدفق) الجسيمات أو الإشعاعات للأنواع المختلفة. وأحيانا يستخدم مصطلح آخر يعرف بكثافة تدفق الطاقة (energy flux density). وتعرف كثافة تدفق الطاقة على أنها كمية الطاقة المارة خلال وحدة المساحات في الثانية الواحدة عند النقطة المعينة. ولتحديد كثافة تدفق الطاقة، فإنه يجب معرفة كثافة تدفق الإشعاعات وطاقاتها. فإذا كان لهذه الإشعاعات نفس مقدار الطاقة E تكون كثافة تدفق الطاقة Φ هي عبارة عن:

$$\Phi = E \phi \qquad (7\text{-}3)$$

أما عند اختلاف طاقة الجسيمات فإنه يمكن تحديد كثافة تدفق الطاقة كالآتي:

$$\Phi = \int_{0}^{Emax} \phi \, dE \qquad (7\text{-}4)$$

وتجدر الإشارة إلى أن المصطلح المعياري العالمي الجديد لكثافة تدفق الطاقة أصبح هو معدل سيولة الطاقة (Energy fluence rate) .

3-7 التعرض The exposure

يستخدم مصطلح التعرض ليدل على مفهومين، أحدهما عام والآخر فيزيائي. وبالمفهوم العام، يستخدم مصطلح التعرض للدلالة على التعرض للإشعاعات المؤينة. وبهذا المفهوم قد يكون التعرض خارجيا (external exposure)، أي ناتجا عن مصدر مشع موجود خارج الجسم، وقد يكون داخليا (internal)، أي ناتجا عن اندخال مادة مشعة داخل الجسم. وبهذا المفهوم أيضا، قد يوصف التعرض بالمهني (occupational) أي تعرض الأشخاص الذين يمتهنون العمل بالإشعاعات المؤينة، أو بالطبي (medical exposure) ، أي تعرض المرضى بهدف تشخيص أمراضهم أو علاجها. كذلك، قد يوصف التعرض بالعادي (normal) وهو التعرض الذي يحدث في ظروف التشغيل العادية للمصادر والمواد المشعة، كما يمكن أن يوصف بالكامن (potential exposure) أي التعرض الذي قد ينتج عن ظروف حوادث إشعاعية. وفضلا عن ذلك، قد يوصف التعرض بالحاد (acute exposure) وهو ذلك التعرض الذي يودع كمية هائلة من الإشعاعات في المتعرض خلال فترة زمنية قصيرة (دقائق أو ساعات أو حتى أيام قليلة)، وقد يوصف بالمزمن (chronic exposure) وهو ذلك التعرض الذي يودع كميات قليلة من الإشعاع ولكن خلال فترة زمنية طويلة (تمتد لعدة سنوات مثل تعرض العاملين المهنيين).

أما المفهوم الفيزيائي للتعرض فيقصد به كمية الإشعاعات المؤينة التي يتكبدها عضو أو نسيج من أعضاء أو أنسجة الكائن الحي، أو يتعرض لها جسمه ككل. فعند تعرض الخلايا الحية للإشعاعات المؤينة تمتص هذه الخلايا جزءا من الطاقة التي تحملها هذه الإشعاعات، وربما الطاقة كلها. وهذه الطاقة الممتصة داخل الخلايا هي التي تؤدي إلى تلفها. وتجدر الإشارة إلى أن التعريف التاريخي الدقيق للتعرض،

بالمفهوم الفيزيائي، هو تعرض الهـواء الجـاف للأشـعة السـينية أو إشعاعات جاما منخفضة الطاقة (حتى 3 ميغا إلكتـرون فولـت) عنـد الظروف المعيارية للضغط الجوي ودرجة الحرارة.

وأنسب طريقة لقياس كمية الإشعاعات التي يتعرض لهـا جسـم الكائن الحي (أي التعرض) هي قياس الشحنة الكهربية الناتجة عن تأين الهواء في هذه الظروف. لذلك، فقد اتفق على اعتبار التعرض هو عبارة عن كمية التأين الناتجة عن الإشعاعات السينية أو إشعاعات جامـا فـي وحدة الحجوم (أي 1 سم ^{3}) من الهواء الجاف عند الظروف الجويـة المعيارية (أي عند درجة حرارة صفر مْ وعند ضـغط مقـداره 760 ملليمتر زئبق).

وحدة قياس التعرض – الرينتجن Roentgen (R)

يقاس التعرض بوحدة تعـرف بـالرينتجن (Roentgen) تخليـدا لذكرى العالم الذي اكتشف الأشعة السينية. وتستخدم هذه الوحدة لقيـاس مقدار الطاقة الإشعاعية التي تنتقل من الكمية المحددة من الأشعة السينية أو إشعاعات جاما ذات الطاقة المنخفضة.

وقد تم تعريف الرينتجن (R) ، في أول الأمر على أنـه كميـة الإشعاعات السينية (أي التعرض) التي تؤدي إلى إنتاج شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها وحدة واحدة كهروستاتيكية (esu 1) في اسم^3 من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية، أي أن:

$$1\ R = 1\ esu / cm^3 air \qquad (7\text{-}5)$$

وحيث إن كافة الهواء عند الظروف المعيارية هـي 0.001293 جم/سم^3 ، وأن الوحدة الكهروسـتاتيكية مرتبطـة بوحـدة الكولـوم C بالعلاقة:

$$1\ esu = 1 / (3 \times 10^9)\ Coulomb \qquad (7\text{-}6)$$

فقد أصبح تعريف الرينتجن R طبقا لنظام الوحـــدات المعياريـــة الدولية (SI) هو:

$$1\ R = 1x\ (1\ /3x10^{9}) \div 0.001293$$
$$= 2.58 \times 10^{-7} \quad \text{Coulomb/gram}$$

أي أن:

$$1\ R = 2.58\ X\ 10^{-4} \quad \text{Coulomb/kg} \quad (7\text{-}7)$$

أي أن الرينتجن هو التعرض الذي يـــؤدي إلـــى إنتـــاج شـــحنة كهربائية موجبة أو سالبة مقدارها 2.58×10^{-4} كولوم في كل ا كجـــم من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعياريـــة. وحيـــث أن شـــحنة الإلكترون أو الأيون تساوي 1.6×10^{-19} كولوم فإن هـــذا يعنـــي أن الرينتجن الواحد ينتج عددا من الأزواج الإلكترونية الأيونية n مقداره:

$$n = 2.58 \times 10^{-4} / 1.6 \times 10^{-19}$$
$$= 1.61 \times 10^{15} \quad \text{electron-ion pairs / kg air}$$

في كل كيلوجرام من الهواء الجاف في الظروف المعيارية.

وحيث أن الطاقة اللازمة لإنتاج زوج إلكتروني – أيوني واحـــد في الهواء الجاف هي حوالي 34 إ.ف، تكون كمية الطاقة التي تودع في الهواء لتكوين زوج واحد هي:

$$\varepsilon = 34 \times 1.6 \times 10^{-19}$$
$$= 5.44 \times 10^{-18} \quad \text{Joules}$$

بذلك، تكون الطاقة بالجول المنقولة من الإشعاعات إلـــى كجـــم واحد من الهواء الجاف نتيجة تعرض بمقدار 1 رينتجن هي:

$$E = \varepsilon \times n$$
$$= 5.44 \times 10^{-18} \times 1.61 \times 10^{15}$$
$$= 0.00876 \quad (\text{joules/ kg})$$

وعلى الرغم من أن وحدة الرينتجن مازالت مستخدمة في بعض الأحيان، إلا أن الوحدة ليست كافيـــة لأنهـــا لا تنطبـــق ســـوى علـــى

الإشعاعات السينية وإشعاعات جاما منخفضة الطاقة عند مرورها في الهواء الجاف دون غيره.

ولما كان الهدف الرئيس هو وقاية جسم الإنسان والكائنات الحية الأخرى من الإشعاعات المؤينة، ونظرا لاختلاف امتصاص الطاقة في أنسجة الجسم عنه في الهواء، فإنه يجب إيجاد العلاقة التي تحول التعرض (أي تعرض الهواء الجاف) إلى ما يكافئه من تعرض الأنسجة البشرية. وقد وجد أن الطاقة الممتصة في الجسم البشري عن تعرض مقداره 1 رينتجن هي 0.0096 جول/كجم. لذلك، فإنه عند الحاجة لتحويل التعرض إلى ما يكافئه من جرعة للإنسان يجب أن تؤخذ النسبة (0.00876 : 0.0096) في الحسبان.

7-4 الجرعة الإشعاعية الممتصة

The radiation absorbed dose

نظرا لأن مفهوم التعرض قاصر على الأشعة السينية وإشعاعات جاما منخفضة الطاقة وعلى الهواء الجاف كوسط تنتقل إليه طاقة الإشعاعات، ورغم وجود معامل تحويل من طاقة منقولة للهواء إلى طاقة منقولة للجسم البشري، فقد تم استخدام كمية فيزيائية جديدة تعبر عن انتقال الطاقة من جميع أنواع الإشعاعات وعند جميع طاقاتها، ولجميع أنواع المواد المتعرضة لهذه الإشعاعات. وتعرف الكمية الجديدة باسم الجرعة الإشعاعية الممتصة.

والجرعة الممتصة هي عبارة عن كمية الطاقة التي تنتقل من الإشعاعات المؤينة للجسم المعين. ويستخدم هذا المصطلح لجميع أنواع الإشعاعات والطاقات ولجميع الأجسام والمواد. ولقد استخدمت في أول الأمر وحدة لقياس الجرعة الممتصة تعرف بالراد (Radiation absorbed dose- rad).

7-4-1 الراد الوحدة القديمة لقياس الجرعة الممتصة The rad

يعرف الراد على أنه عبارة عن انتقال كمية من الطاقة مقدارها 100 إرغ لكل جرام من المادة الممتصة، عند مرور الإشعاعات فيهـــا، أي أن:

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg} / 1 \text{ gm matter} \qquad (7\text{-}8)$$

وحيث أن: 1 إرج = 10^{-7} جول، فإن:

$$1 \text{ rad} = 100 \times 10^{-7} / 10^{-3}$$
$$= 0.01 \text{ joule / kg}$$

7-4-2 الغراي وحدة الجرعة الممتصة في النظام المعياري
The Gray (Gy)

طبقا لنظام الوحدات المعيارية الدولية (SI) فقد استخدمت وحـــدة جديدة لقياس الجرعة الممتصة هي غراي (Gray - Gy) نسبة إلى العـــالم الفيزيائي غراي الذي كان أول من أوجد الطرق العلمية الدقيقة لقيـــاس الجرعة الممتصة. والغراي هو جرعة من الطاقة الممتصـــة مقـــدارها واحد جول لكل كغم من المادة، أي أن: 1 جراي = 1جول لكل كغم من المادة

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \qquad (7\text{-}9)$$

7-5 التكافؤ بين الرينتجن والراد

تجدر الإشارة إلى أنه في معظم الأحيان يتم تدريج أجهزة قياس الجرعات بوحدات الرينتجن، وذلك بغرض قيـــاس التعـــرض. كـــذلك، يلاحظ أن العديد من جداول الجرعات موضوعة بوحدات الراد. لـــذلك، يجب معرفة علاقات التكافؤ بين هاتين الوحدتين لإجـــراء التحـــويلات اللازمة من قراءة الجهاز بالرينتجن إلى قيمة الجرعة الممتصة بالراد أو الغراي.

وقد ذكرنا أن تعرضا مقداره واحد رينتجن يكافئ جرعة ممتصة مقدارها 0.00876 جول/كغم من الهواء، أو يكافئ 0.0096 جول/كغـــم

من جسم الإنسان. ولما كان الراد هو 0.01 جول/كغم من المادة، فإنه يلاحظ أن:

1 رينتجن في الهواء يكافئ 0.876 راد = 0.00876 غراي

1 رينتجن في الإنسان يكافئ 0.96 راد = 0.0096 غراي

وتبين العلاقة الأخيرة أن تعرضا مقداره 1 رينتجن يكافئ بالنسبة لجسم الإنسان 1 راد تقريبا. ولكن يجب أن يؤخذ في الحسبان أن الرينتجن قد حدد أساسا بالنسبة للإشعاعات السينية وإشعاعات جاما، أما الراد فيشمل جميع أنواع الإشعاعات.

7-6 التأثير البيولوجي على جسم الإنسان

Biological effects on the human body

لقد تبين أن التأثير البيولوجي على جسم الإنسان، الناتج عن نفس مقدار الجرعة الممتصة يختلف اختلافا شديدا باختلاف نوع الإشعاعات. فمثلا يلاحظ أن التأثير البيولوجي الناتج عن جرعة مقدارها 1 غراي (100 راد) من النيوترونات السريعة أكبر بمقدار عشرين مرة من التأثير الناتج عن الجرعة نفسها من الأشعة السينية .لذلك، فإنه يجب معرفة ما يسمى بالتأثير البيولوجي النسبي.

7-6-1 التأثير البيولوجي النسبي (RBE)

هو عبارة عن نسبة الجرعة الممتصة من إشعاعات جاما عند طاقة معينة، إلى الجرعة الممتصة من أي نوع آخر من الإشعاعات بحيث يكون التأثير البيولوجي عنهما واحدا في نفس العضو. فعلى سبيل المثال، إذا كان التأثير الناتج عن جرعة مقدارها 0.2 غراي (20 راد) من النيوترونات البطيئة في عضو ما يعادل تماما التأثير الناتج عن جرعة مقدارها 1.0 غراي (100 راد) من إشعاعات جاما عند الطاقة المعينة يكون مقدار التأثير البيولوجي النسبي Relative biological effectiveness (RBE) هو:

$$RBE = 1/0.2 = 5$$

أي أن التأثير البيولوجي للنيوترونات البطيئة أقوى خمس مرات من تأثير إشعاعات جاما على نفس العضو.

ويختلف التأثير البيولوجي النسبي للإشعاعات باختلاف طاقتها وباختلاف نوع ودرجة التلف البيولوجي الناتج عنها، وكذلك باختلاف نوع النسيج أو العضو. لذلك، فإنه لأغراض الوقاية الإشعاعية استخدمت في الماضي كمية أخرى عرفت باسم معامل النوعية (The quality factor Q) بدلا من التأثير البيولوجي النسبي RBE. إلا إن هذه الكمية الجديدة استبدلت بكمية أحدث منذ عام 1991 م ، تعرف باسم العامل المرجح (أو الوزني) للإشعاع وتتواءم مع المفاهيم الفيزيائية والإحصائية الأساسية.

7-6-2 العامل المرجح للإشعاع W_R

The radiation weighting factor

أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) في نشرتها الأخيرة الصادرة في يناير عام 1991 م، باستخدام مصطلح العامل المرجح (أوالوزني) للإشعاع W_R بدلا من معامل النوعية المستخدم سابقا، حيث ارتبط معامل النوعية بأنه متوسط التأثيرات البيولوجية النسبية على الجسم كله عندما تؤثر الإشعاعات في نقط محددة من كل عضو أو نسيج. أما العامل المرجح للإشعاع فقد أخذ في الحسبان الجرعة الممتصة المتوسطة في كامل العضو أو النسيج. ويبين جدول (7-1) قيم العامل المرجح للإشعاع W_R لبعض الإشعاعات عند طاقات مختلفة.

جدول(7-1)
قيم العامل المرجح للإشعاع W_R للإشعاعات والطاقات المختلفة

نوع الإشعاعات وطاقاتها	قيمة العامل المرجح للإشعاع W_R
الأشعة السينية وأشعة جاما (جميع الطاقات)	1
الإلكترونات والميونات(جميع الطاقات)	1
النيوترونات:	

– بطاقة أقل من 10 ك.إ.ف	5
– بطاقة من 10 حتى 100 ك.إ.ف	10
– بطاقة من 100 حتى 2000 ك.إ.ف	20
– بطاقة من 2 وحتى 20 م.إ.ف	10
– نيوترونات بطاقة أكبر من 20 م.إ.ف	5
البروتونات (بخلاف المرتدة)بطاقة حتى 2م.إ.ف.	10
جسيمات ألفا وشظايا انشطار ونوى ثقيلة	20

7-6-2 الجرعة المكافئة للعضو أو النسيج H_T

The tissue equivalent dose

مع استخدام العامل المرجح للإشعاع W_R بدلا من معامل النوعية Q ، أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية باستخدام مصطلح الجرعة المكافئة للعضو أو النسيج (The equivalent dose in tissue or organ) بدلا من مكافئ الجرعة للإنسان (Dose equivalent man) المستخدم سابقا.

وتحدد الجرعة المكافئة H_T لعضو أو نسيج T من أنسجة الجسم البشري من العلاقة التالية:

$$H_T = \sum_R W_R D_{TR} \qquad (7\text{-}10)$$

حيث: D_{TR} الجرعة الممتصة من النوع المعين من الإشعاعات R في النسيج أو العضو المعين T . ويتم جمع الجرعات المكافئة في النسيج المعين من الإشعاعات المختلفة للحصول على الجرعة المكافئة الكلية في هذا النسيج H_T .

7-6-4 وحدات قياس الجرعة المكافئة

تقاس الجرة المكافئة في عضو أو نسيج بوحدتي رم (rem) في النظام القديم أو بوحدة سيفرت (Sievert Sv) في النظام المعياري الدولي. فعند استخدام النظام المعياري للوحدات (SI) تقاس الجرعة الممتصة بالغراي (Gy)، وعندئذ تقاس الجرعة المكافئة في العضو أو النسيج

بوحدة سيفرت (Sv). أما عند استخدام وحدة راد (rad) التقليدية لقياس الجرعة الممتصة، عندئذ تقاس الجرعة المكافئة بوحدة رم (rem).

وحدة رم Roentgen equivalent man (The rem)

هي الوحدة القديمة لقياس الجرعة المكافئة في نسيج، حيث يعبر عن الجرعة الممتصة بوحدة راد. وتكون الجرعة المكافئة بوحدة رم (rem) هي مجموع حاصل ضرب العامل المرجح للإشعاع في الجرعة الممتصة بوحدة راد طبقا للعلاقة (7−10):

وحدة سيفرت The Sievert (Sv)

هي وحدة قياس الجرعة المكافئة في النظام المعياري الدولي للوحدات، حيث تكون الجرعة المكافئة بوحدة سيفرت عندما يتم التعبير عن الجرعة الممتصة في العلاقة (7−10) بوحدة غراي (Gy).

مثال :

في إحدى السنوات تعرضت رئتا أحد العاملين في مختبر نووي للجرعات التالية: 0.02 غراي (2 راد) نيوترونات حرارية (أي بطاقة أقل من 10 ك.إ.ف)، 0.05 غراي (5 راد) نيوترونات بطاقة 14 م.إ.ف ، 0.8 غراي (80 راد) إشعاعات جاما. احسب الجرعة المكافئة في رئتي هذا العامل عن تلك السنة.

الحل :

بتطبيق العلاقة (7−10) وإيجاد العامل المرجح للإشعاع للأنواع الثلاثة من جدول (7−1)، والتعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة غراي نحصل على الجرعة المكافئة بوحدة سيفرت كالآتي:

$$H = \sum W_R H_{TR}$$

$$H = 5 \times 0.02 + 10 \times 0.05 + 1 \times 0.8$$

$$= 0.1 + 0.5 + 0.8$$

$$= 1.4 \quad (Sv)$$

أي أن الجرعة المكافئة في رئتي العامل = 1.4 سيفرت

وعند التعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة راد نحصل على الجرعة المكافئة في الرئتين بوحدة رم كالآتي:

$$H = 5 \times 2 + 10 \times 5 + 1 \times 80$$
$$= 10 + 50 + 80$$
$$= 140 \quad (rem)$$

أي أن الجرعة المكافئة في رئتي العامل = 140 رم.

وباستخدام العلاقة بين الغراي والراد (العلاقة 7-9) يتضح أن العلاقة بين السيفرت والرم هي:

1 سيفرت = 100 رم

وهي العلاقة التي أوضحها المثال السابق.

7-6-3 العامل المرجح للنسيج أو العضو W_T

The tissue weighting factor

يعتمد احتمال الإصابة بالتأثيرات العشوائية للإشعاع (كالسرطان أو التأثيرات الوراثية) على نوع العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع. فبعض الأعضاء والأنسجة البشرية تتعرض للإصابة السرطانية الناتجة عن الإشعاع أكثر من غيرها عند تساوي مقدار الجرعة المكافئة. ولحساب احتمال إصابة الجسم البشري بهذه التأثيرات فإنه يجب تحديد مدى إسهام كل عضو من أعضاء وأنسجة الجسم في هذا الاحتمال عند تساوي الجرعات في هذه الأعضاء. ولعمل ذلك فإنه يجب وزن الجرعات المكافئة للأنسجة والأعضاء البشرية بمعامل خاص يطلق عليه اسم العامل المرجح للنسيج أو العضو أو العامل المرجح للنسيج The tissue weighting factor W_T . ويمثل هذا العامل الإسهام النسبي للنسيج أو العضو (أي عامل النسيج المرجح) في الضرر الإجمالي للجسم، من بين التأثيرات الناجمة عن تشعيع كامل الجسم تشعيعا متجانسا. بمعنى آخر، فإنه عند تشعيع الجسم البشري بشكل متجانس بالإشعاع يكون العامل المرجح للنسيج أو العضو هو نسبة إسهام هذا العضو في احتمال

الإصابة بالتأثير العشوائي. ويبين جدول (7-2) قيم العوامل المرجحة للأنسجة المختلفة للجسم البشري.

7-6-3 الجرعة الفعالة E

The effective dose

أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية باستخدام مصطلح الجرعة الفعالة E بدلا من المصطلح المتداول قبله وهو مكافئ الجرعة الفعالة. وترتبط الجرعة الفعالة بالتأثيرات العشوائية على كامل الجسم البشري بعد وزن الجرعات المكافئة للأعضاء، طبقا لإسهامها في الضرر العشوائي على كامل الجسم، أي أن الجرعة الفعالة هي مجموع حاصل ضرب الجرعة المكافئة لكل نسيج أو عضو في قيمة العامل المرجح لهذا النسيج أو العضو طبقا للعلاقة التالية:

$$E = \sum_{T} W_T H_T \qquad (7\text{-}11)$$

حيث: W_T هو العامل المرجح للنسيج T ، H_T هي الجرعة المكافئة في النسيج T ، ويتم جمع إسهامات جميع أنسجة وأعضاء الجسم البشري.

جدول(7-2): قيم العوامل المرجحة W_T لأعضاء الجسم البشري

العضو أو النسيج	قيمة المعامل المرجح W_T
الغدد التناسلية	0.20
النخاع العظمي	0.12
القولون	0.12
الرئتين	0.12
المعدة	0.12
المثانة	0.05
الكبد	0.05
الإثنى عشر	0.05
الغدد الدرقية	0.05
الصدر (الثدي)	0.05
الجلد	0.01
سطح العظام	0.01

باقي الأعضاء	0.05
كامل الجسم	1.00

وحدات قياس الجرعة الفعالة

تقاس الجرعة الفعالة E بنفس الوحدات المستخدمة لقياس الجرعة المكافئة، وهي السيفرت في النظام المعياري الدولي والرم في نظام الوحدات القديمة.

مثال:

تعرضت أنسجة وأعضاء أحد فنيي المختبرات الطبية، التي يتم فيها تداول المواد المشعة، خلال عام بسبب اندخال المواد المشعة وبسبب التعرض الخارجي إلى الجرعات التالية: 150 ميللي رم (1.5 ميللي سيفرت) للرئتين، 500 ميللي رم (5 ميللي سيفرت) للمعدة، 100 ميللي رم (1 ميللي سيفرت) للاثنى عشر، 250 ميللي رم (2.5 ميللي سيفرت) للقولون، 50 ميللي رم (0.5 ميللي سيفرت) للغدد التناسلية. احسب الجرعة الفعالة التي حصل عليها هذا الفني بالميللي سيفرت والميللي رم.

الحل:

باستخدام العلاقة (7−11) والتعويض عن الجرعة المكافئة H_T للأعضاء والأنسجة بوحدات سيفرت أو أجزائه، وبإيجاد قيم العوامل المرجحة W_T للأنسجة والأعضاء من جدول (7−2) تكون الجرعة الفعالة بالسيفرت أو أجزائه هي:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

$$= 0.12 \times 150 + 0.12 \times 5 + 0.05 \times 1 + 0.12 \times 2.5 + 0.20 \times 0.5$$

$$= 0.18 + 0.60 + 0.05 + 0.30 + 0.10$$

$$= 1.23 \quad \text{m Sv}$$

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 1.23 ميللي سيفرت.

ولحساب المطلوب بالميللي رم تستخدم وحدة ميللي رم للتعبير عن الجرعة المكافئة H_T وتكون الجرعة الفعالة هي:

$$\mathbf{E} = 0.12 \times 150 + 0.12 \times 500 + 0.05 \times 100 + 0.12 \times 250 + 0.20 \times 50$$

$$= 18 + 60 + 5 + 30 + 10$$

$$= 123 \text{ mrem}$$

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 123 ميللي رم.

والجرعة الفعالة هي الجرعة التي يجري على أساسها حساب المخاطر العشوائية واحتمالاتها .

وتجدر الإشارة إلى أن هناك كمية أخرى تستخدم للتعبير عن الجرعة الفعالة عندما يكون مصدر التعرض مصدرا داخليا، أي أن التعرض ينتج عن اندخال المادة المشعة إلى داخل جسم الإنسان، وتصبح هذه المادة ملازمة له. ويطلق على هذا المصطلح اسم "**الجرعة الفعالة الملازمة** " **(The committed effective dose)** . ومن الأمثلة على الظروف التي تؤدي إلى تلازم الجرعة الفعالة تلك المواد المشعة التي تتسرب للبيئة من الأنشطة النووية المختلفة أو النويدات المشعة التي انطلقت للبيئة من التفجيرات النووية واستقرت على سطح الأرض وأصبحت مقدرة على الإنسان وملازمة له.

وتقاس الجرعة الفعالة الملازمة بنفس وحدات قياس الجرعة الفعالة، أي بالسيفرت في النظام المعياري العالمي أو بالرم في النظام القديم.

7-6-4 الجرعة الفعالة الجماعية E_C

The collective effective dose

هي عبارة عن مجموع الجرعات الفعالة التي تودع في مجموعة بشرية محددة. وعند تساوي متوسط الجرعة الفعالة التي تودع في جميع أفراد المجموعة تكون الجرعة الفعالة الجماعية E_C هي عبارة عن حاصل ضرب متوسط الجرعة الفعالة للفرد E في عدد الأفراد المتعرضين، أي أن:

$$E_C = E \times n$$

حيث n عدد الأفراد. وتقاس الجرعة الجماعية بوحدة فرد. سيفرت (Man.Sievert).

7-7 معدل الجرعة $\dot{D}$ The dose rate

تعبر وحدات الغراي والسيفرت (أو الراد والرم)، بالترتيب، عن مقدار الجرعة الممتصة والجرعة المكافئة أو الفعالة التي حصل عليها عضو أو شخص ما خلال مدة زمنية معينة t . ولتقدير قيمة الجرعة التي يتعرض إليها الشخص خلال زمن معين فإنه يجب معرفة ما يسمى بمعدل الجرعة. ومعدل الجرعة $D^{\bullet}$ في مكان ما هو قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو أو الإنسان في وحدة الزمن، عند وجوده في هذا المكان، أي أن:

$$D = D^{\bullet} \times t \qquad (7\text{-}13)$$

مثال:

إذا كانت الجرعة الفعالة المسموح بها في الأسبوع هي 0.4 ميللي سيفرت. فاحسب الزمن الذي يسمح خلاله لشخص ما بالوجود داخل مختبر في الأسبوع إذا كان معدل الجرعة الفعالة داخل هذا المختبر هو 100 ميكروسيفرت/ساعة.

الحل:

$$D = D^{\bullet} \times t$$

.: الزمن المسموح به لوجود الشخص داخل المختبر خلال الأسبوع كله هو:

$$t = D / D^{\bullet}$$

$$= 0.4 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-6}$$

$$= 4 \quad \text{hours}$$

7-8 أسئلة ومسائل للمراجعة

1- عرف كلا من كثافة تدفق الجسيمات وكثافة تدفق الطاقة، وما هي وحدات قياسهما؟

2- عرف التعرض، وما هي وحدات قياسه؟.

3- لماذا لا تعتبر معرفة التعرض كافية لأغراض الوقاية الإشعاعية؟

4- ما هو الغراي؟، وكيف يرتبط بالراد؟

5- ماذا تعني الجرعة المكافئة؟، وما هو التأثير البيولوجي النسبي، والعامل المرجح للإشعاع والعامل المرجح للنسيج ؟

6- عرف كل من الجرعة المكافئة والجرعة الفعالة ومعدل الجرعة والجرعة الفعالة الجماعية.

7- ما هي وحدات قياس الجرعة المكافئة والفعالة؟

8- احسب تدفق النيوترونات الناتج عن مصدر نيوتروني يصدر 3×10^{10} نيوترون/ ثانية، وذلك على مسافات 0.3 م ، 1 م ، 10م.

9- مصدر كوبلت 6 يشع إشعاعات جاما، فإذا علمت أن شدة المصدر تبلغ 6000 كوري، احسب كثافة تدفق إشعاعات جاما على مسافة 30 سم ، 5 أمتار من مركز المصدر.
احسب كثافة تدفق الطاقة على المسافة نفسها.

10- احسب القيم التالية بالوحدات الدولية المعيارية:
50 ميكروراد ، 200 ميللي راد ، 5 راد ،
3 ميكرورم ، 0.7 ميللي رم ، 2 رم

11- في أحد المختبرات النووية وضع فنيو الوقاية المعدلات التالية للتعرض:
نيوترونات بطاقة 1-2 م.إ.ف، . 2 ميللي راد/ساعة
نيوترونات بطيئة بواقع 50 ميكررو راد/ساعة

إشعاعات جاما بواقع 4 ميللي رينتجن/ساعة
احسب الجرعة المكافئة بالسيفرت التي تتعرض لها أنسجة عامل مكث في المختبر سبع ساعات.

12- في أحد المختبرات الملوثة بمادة الراديوم المشع كانت قراءات أجهزة قياس الجرعات كالتالي:
جسيمات بيتا 0.5 ميللي راد/ساعة
إشعاعات جاما 0.16 ميكرورينتجن/دقيقة .
احسب الجرعة المكافئة بالسيفرت لرئتي عامل مكث في هذا المختبر ثلاث ساعات، بفرض أنه لم يحدث له تلوث داخلي ولم يقترب من الأسطح الملوثة.

13- إذا كانت الجرعة القصوى المسموح بها في السنة هي 20 ميللي سيفرت، وكانت قراءة الخلفية الإشعاعية في مختبر ما عبارة عن 50 ميكروراد/ساعة لإشعاعات جاما، 5 ميكروراد/ساعة للنيوترونات البطيئة، فما هي المدة القصوى المسموح بالمكوث خلالها داخل المختبر يوميا (اعتبر أن السنة 250 يوم عمل).

14- إذا علمت أن الجرعة الفعالة السنوية المتوسطة الناتجة عن تعرض كافة البشر لإشعاعات جاما المنبعثة من الأرض هي 0.46 ميللي سيفرت. احسب الجرعة الفعالة الجماعية لسكان الكرة الأرضية الناتجة عن هذا النوع من التعرض الطبيعي إذا علمت أن تعداد سكان العالم 6 آلاف مليون نسمة.

الفصل الثامن

حـــدود الجرعات
Dose limits

- اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية – توصيات اللجنة الدولية للوقايـــة الإشعاعية – حدود التعرض– أسئلة ومسائل للمراجعة.

8–1 الهيئات الدولية الراعية للوقاية من الإشعاع

8–1–1 اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية
International Commission on Radiological Protection (ICRP)

تأسست اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) عـــام 1928م. ومنذ ذلك التاريخ كانت هذه اللجنة الهيئة الدولية المسؤولة عـــن وضـــع الحدود القصوى من الجرعات الإشعاعية التي يسمح بالتعرض لها، وعن إصدار التوصيات الخاصة بهذه الحدود وكذلك التوصيات الخاصة بكيفية تداول ونقل وتخزين المواد والمصادر المشعة وغيره. وتجدر الإشـــارة إلى أن معظم القوانين والتشريعات الخاصة بالتعرض للإشعاعات المؤينة والتي تسنها معظم الدول تنبثق أساسا عن توصيات هذه اللجنة.

وفي أول الأمر كانت التوصيات التي أصدرتها هذه اللجنة تقـــوم على أساس الوقاية من الإشعاعات السينية والإشعاعات الصـــادرة عـــن الراديوم. وكانت الحدود القصوى للجرعات الإشعاعية المسموح بها غير كافية الدقة (انظر البند الأول من جدول 8–1). وكانت أهم التوصيات الأولية لهذه اللجنة بشأن فترات التعرض للعاملين ما يلي:

1– يجب ألا تزيد ساعات العمل في المختبرات أو الأمـــاكن التـــي تحوي الإشعاعات أو المصادر المشعة على 7 ساعات في اليوم.

2- يجب ألا تزيد أيام العمل على خمسة أيام في الأسبوع.

3- يجب ألا تقل الإجازة السنوية عن شهر.

4- يجب قضاء أيام العطلات والإجازات بعيدا عن تلك المختبرات أو الأماكن التي تتضمن إشعاعات مؤينة.

ونتيجة لتطور مصادر الإشعاعات وإنتاج العديد من المعجلات والمفاعلات النووية في العالم قامت هذه اللجنة، في عام 1950م، بإعادة النظر في توصياتها السابقة، لتتمشى هذه التوصيات مع العديد من المشكلات الناجمة عن هذا التطور. وتقوم اللجنة بإعادة النظر في توصياتها وفي قيم الحدود القصوى للتعرض وللجرعات الإشعاعية كلما دعت الحاجة إلى ذلك. وقد تم تخفيض الحد الأقصى للجرعات المصرح بها بصورة واضحة خلال السنوات القليلة الماضية. ويبين جدول (8-1) كيفية تطور الحدود القصوى للتعرض الإشعاعي.

جدول (8-1)
الحدود القصوى لتعرض العاملين المهنيين الصادرة عن
اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية وتواريخ صدورها

مسلسل	معدل الجرعة	تاريخ صدوره
1	0.2 رينتجن في اليوم أو 1 رينتجن في الأسبوع.	1934م
2	150 ميللي سيفرت (أي 15 رم) في السنة، أي ما يعادل 3 ميللي سيفرت (أي0.3 رم) في الأسبوع.	1950م
3	50 ميللي سيفرت (5 رم) في السنة، أي مايعادل 1 ميللي سيفرت في الأسبوع.	1956م
4	يجب أن يكون معدل التعرض عند أقل حد معقول، بحيث لا تتجاوز الجرعة المكافئة 50 ميللي سيفرت (5رم) في السنة.	1977م

5	يجب ألا تتجاوز الجرعة الفعالة السنوية للعاملين 20 ميللي سيفرت (2رم) في السنة، ويجب ألا تتجاوز الجرعة الفعالة السنوية لعموم الجمهور 1 ميللي سيفرت (0.1 رم).	1991م

8-1-2 اللجنة العلمية للأمم المتحدة (UNSCEAR)

بعد أن استشعر العالم مخاطر الإشعاعات المؤينة تبنت الجمعية العامة للأمم المتحدة تأسيس لجنة علمية عام 1955 سميت باسم "اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الإشعاعات الذرية- United Nation Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation " وذلك من عشرين دولة من الدول الأعضاء. وتشترك نخبة من علماء تلك الدول المتخصصين في مجالات الفيزياء الإشعاعية والتأثيرات البيولوجية للإشعاع سنويا لدراسة جميع النواحي العلمية والإحصائية المرتبطة بالإشعاعات المؤينة وانتشار المواد المشعة في البيئة وتأثيراتها البيولوجية. وتهدف اللجنة إلى الحصول على الخلاصة العلمية حول الإشعاعات وتأثيراتها دون أية توجهات سياسية. وتقدم اللجنة تقريرا علميا سنويا للجمعية العامة تضمنه أحدث ما توصلت إليه من خلال البحوث العلمية المتواصلة، كما تصدر كتابا دوريا (كل حوالي 5 سنوات) تضمنه الحصيلة العلمية خلال الفترة. ويعتبر هذا الكتاب الدوري من أهم المراجع العلمية على المستوى الدولي حول الموضوع. وتستند اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية في التوصيات التي تصدرها على خلاصة النتائج العلمية التي تتوصل إليها اللجنة العلمية للأمم المتحدة.

8-2 تطور المعايير الدولية للوقاية الإشعاعية

8-2-1 جرعة التحمل The tolerance dose

في أول الأمر استخدمت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية اصطلاح (جرعة التحمل) للتعبير عن التعرض الإشعاعي الذي يمكن أن يتحمله الإنسان. ولكن هذا الاصطلاح يعطي الإحساس بوجود عتبة معينة لا يحدث قبلها ضرر إشعاعي وإنما يحدث هذا الضرر بعدها. وبناء على النتائج العملية المتوافرة فإنه لا توجد مثل هذه العتبة

للأضرار الإشعاعية العشوائية سواءً الذاتية أو الوراثيـــة. لـــذلك، فقـــد أوصت اللجنة في عام 1958م بالامتناع عن استخدام مصطلح جرعـــة التحمل واستخدام مصطلح آخر بدلا منه عرف بالحد الأقصى المســـموح به.

8-2-2 الحد الأقصى المسموح للجرعة

The maximum permissible dose (MPD)

الحد الأقصى المسموح للجرعة (MPD) هو عبارة عن مقـــدار الجرعة الإشعاعية الفعالة، سواء المتراكمة خلال فترات زمنية طويلة أو الناتجة عن تعرض حاد لفترة قصيرة، التي يكـــون احتمـــال الإصـــابة بأضرار عشوائية (سواء ذاتية أو وراثية) نتيجة لها احتمالا طفيفا، وذلك في ضوء المعلومات المتوفرة في حينه. فعند تعرض مجموعة كبيرة من الأشخاص لجرعة إشعاعية تقع في حدود الحد الأقصى المســـموح بـــه تكون نسبة الإصابة بأي من الأضرار العشوائية نسبة ضئيلة. كذلك، فإن التأثيرات الأخرى لهذه الجرعة كقصر العمر مثلا يكون محدودا للغاية. لذلك، فإنه لا يمكن اكتشاف التأثيرات والأضرار الأخرى الناجمة عـــن الجرعات الإشعاعية التي لا تزيد عن الحد الأقصى المســـموح بـــه إلا بالطرق الإحصائية على مجموعات كبيرة من البشر.

لذلك، أصدرت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية فـــي نشـــرتها السادسة والعشرين الصادرة عام 1977م توصية بعدم صلاحية مصطلح الجرعة القصوى المسموح بها، واستحدثت نظاما آخر ،يعـــرف بنظـــام حدود الجرعات(dose limits) ، يمكن تلخيص مبادئه في التالي:

أ- لن يتم إقرار نظام معين للتعرض الإشعاعي ما لـــم تكـــن وراءه فائدة.

ب- يجب أن يكون التعرض عند أقل حد يعقل إنجازه على أن تؤخذ الظروف الاقتصادية والاجتماعية في الدولة في الحسبان.

ج- يجب ألا تتجاوز الجرعة الفعالة الحدود التي توصي بها اللجنـــة في آخر توصياتها التي تصدرها دوريا.

8-3 توصيات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية:

8-3-1 النشرة رقم 26 لعام 1977م

في نشرتها السادسة والعشرين تم تقسيم التأثيرات الناجمة عن الإشعاعات المؤينة إلى نوعين رئيسيين هما:

أ- التأثيرات العشوائية (stochastic effects): وهي التأثيرات التي قد تقع على المتعرض أو على ذريته (أبناءه أو أحفاده) وقد لا تقع، والتي يمكن أن تحدث من جرعات صغيرة أو كبيرة، إلا أن احتمال حدوثها يتناسب طرديا (كما ورد) مع مقدار الجرعة، ولا تعتمد حدة المرض عل مقدار الجرعة.

ب- التأثيرات الحتمية (deterministic effects): وهي التأثيرات التي لا تحدث إلا إذا زادت جرعة التعرض على عتبة (حد) معينة وتقع الإصابة بالتأكيد عند تجاوز هذه العتبة، وتزيد حدة الإصابة بزيادة الجرعة.

وطبقا لتوصيات اللجنة الصادرة بالنشرة رقم 26 لسنة 1977 تتجلى أهم أهداف الوقاية الإشعاعية فيما ما يلي:

أ- منع حدوث التأثيرات الحتمية وذلك بتحديد قيمة عتبة الجرعة لكل مرض من هذه الأمراض، وخفض حدود جرعات التعرض لتكون دون هذه العتبة بكثير.

ب- خفض احتمال حدوث التأثيرات العشوائية بخفض معدل التعرض إلى أقل حد معقول حتى تبقى احتمال الإصابة بهذه الأمراض في حدود مقبولة مع أخذ العوامل الاقتصادية والاجتماعية في الحسبان. وهنا تبنت اللجنة مبدأ جديدا عرف باسم مبدأ "ألارا" وهي الأحرف الأولى لخمس كلمات إنجليزية هي " As Low As Reasonably Achievable" وتعني بالعربية أقل ما يعقل إنجازه.

مبدأ ألارا: ALARA Principle

قبل النشرة رقم 26 لعام 1977م كان المبدأ المطبق هو أقل ما يمكن "As low as possible". إلا أن اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية قد رفضت هذا المبدأ وحل محله المبدأ الجديد. فمن المعروف أنه يمكن تبني جوانب وقائية ممتازة، ولكن بتكاليف باهظة. فهل تبرر هذه التكاليف الفوائد والمنافع. فقد يكون من الأجدى إنفاق هذه النفقات في جوانب أخرى تعود بمنفعة أكبر على المجتمع ككل، وليس على العاملين بالإشعاع وحدهم. وهنا برزت فلسفة تبرير إجراءات الوقاية وضرورة الموازنة بين الأضرار المتوقعة وبين المنافع، وبالتالي برز مبدأ التبرير، ومعناه أن تتغلب منافع أي إجراء وقائي على أضراره للمجتمع ككل، مع أخذ العوامل الاقتصادية والاجتماعية في الحسبان. ومن هنا برز مصطلح أقل ما يعقل إنجازه (ALARA) .

8-3-2 النشرة رقم 60 لسنة 1990

في ضوء المستجدات التي توصلت إليها كل من اللجنة العلمية للأمم المتحدة (UNSCEAR)، ولجنة التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة (BEIR)، وعدد من اللجان الوطنية العلمية، تبين أن عامل المخاطر الخاص بالإصابة بالأمراض السرطانية والوراثية أعلى بكثير من المعامل المستخدم سابقا وهو حوالي 0.013 لكل فرد.سيفرت في المتوسط للجنسين. وقد حددت جميع هذه اللجان المختلفة هذا المعامل بما يتراوح بين حوالي 0.045 وحوالي 0.090 وبقيمة متوسطة تبلغ حوالي 0.060 . وهذه يعني أن حجم المخاطر السرطانية، يبلغ خمسة أضعاف ما كان يعتقد قبل ذلك. لذلك، أو صت اللجنة الدولية في نشرتها رقم 60 بحدود أقل سواءً للتعرض المهني أو لتعرض عموم الجمهور.

فبالنسبة للعاملين مهنيا بالإشعاعات خفض الحد السنوي من 50 إلى 20 ميللي سيفرت (2 رم)، أي بواقع مرتين ونصف عما كان قبله. وتم تحديد حدود للجرعات المكافئة لبعض أعضاء الجسم البشري، كما

تم وضع حدود منخفضة للنساء الحوامل من العاملات وللمتدربين والطلبة. وبالنسبة لعموم البشر خفض الحد السنوي من 5 إلى 1 ملي سيفرت أي بواقع خمسة أضعاف.

8-3-3 حدود الجرعات الفعالة والمكافئة للعاملين المهنيين
The occupational effective and equivalent dose limits

لخفض التأثيرات العشوائية بين العاملين في المجالات الإشعاعية أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية في نشرتها رقم 26 لعام 1977م بأن لا يزيد حد الجرعة الفعالة للمتعرضين للإشعاع مهنيا على 50 ميللي سيفرت (5رم) في السنة من جميع مسالك التعرض الداخلية والخارجية.

كذلك، أوصت اللجنة بحدود معينة للجرعات المكافئة لبعض أجزاء الجسم البشري، بحيث يتحقق الهدفان السابقان للوقاية من الإشعاع. والحدود المطبقة على العاملين المهنيين بالإشعاع وفقا للنشرة 60 لعام 1990 هي:

أ- حد التعرض السنوي (الجرعة الفعالة) للعاملين المهنيين هو 20 ميللي سيفرت. ويجوز رفع هذا الحد في سنة من السنين حتى 50 ميللي سيفرت، بشرط أن لا تتجاوز الجرعة الفعالة التراكمية خلال أي خمس سنوات متعاقبة 100 ميللي سيفرت.

ب- حد التعرض للحامل طوال فترة الحمل 1 ميللي سيفرت إذا كان التعرض داخليا، 2 ميللي سيفرت إذا كان التعرض خارجيا.

ج- حد التعرض السنوي للمتدربين والطلبة الذين تتراوح أعمارهم بين 16، 18 سنة هو 6 ملي سيفرت بشرط أن يكون هذا التدريب جزءاً من مهامهم أو دراستهم.

د- يحظر تعرض من تقل أعمارهم عن 16 سنة.

هـ الحد السنوي للجرعة المكافئة لعدسة العين للعاملين المهنيين هو 150 ميللي سيفرت وللأطراف (أي اليدين والقدمين) هو 500 ميللي سيفرت

هـ الحد السنوي للجرعة المكافئة لعدسة العين للمتدربين هو 50 ميللي سيفرت وللأطراف (أي اليدين والقدمين) هو 150 ميللي سيفرت

8-3-4 تصنيف أماكن العمل

تصنف اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية أماكن العمل طبقا للظروف الإشعاعية إلى نوعين:

أماكن الفئة أ Working condition A

وهي تلك الأماكن التي يمكن أن يتجاوز فيها التعرض (10/3) حدود الجرعة الفعالة المطبقة. وحيث أن حد التعرض المهني المطبق حاليا هو 20 ميللي سيفرت، فإن الأماكن التي يمكن أن يتجاوز معدل التعرض السنوي فيها 6 ميللي سيفرت يجب أن تنتمي لمناطق الفئة أ. ويجب أن يخضع العاملون في مثل هذه الأماكن لبرنامج متكامل للوقاية الإشعاعية، سواءً بالنسبة للتعرض الخارجي أو التلوث الداخلي. كذلك، يجب أن يخضع العاملون في هذه الأماكن للفحوص الطبية الدورية، كما يجب إجراء فحوص طبية لهم قبل التكليف بالعمل في هذه الأماكن، وقبل إجراء أي عمليات جراحية لأي منهم.

أماكن الفئة ب Working condition B

هي تلك الأماكن التي لا يمكن أن يتجاوز فيها التعرض الإشعاعي (10/3) حدود الجرعة الفعالة أو المكافئة. وعموما، فإنه لا يخضع العاملون في تلك الأماكن لفحوص ما قبل العمليات. ولكن يجب

إخضاعهم للرقابة الإشعاعية للتأكد من سلامة هذه الرقابة ومن أن التعرض فعلا لا يتجاوز الحدود المبينة.

8-3-5 حدود الجرعة لعموم الجمهور

dose limits for member of public

بالنسبة لعموم الجمهور أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية في نشرتها رقم 60 الصادرة عام 1991م بالحدود التالية للجرعات:

لخفض التأثيرات العشوائية بين عموم الجمهور يجب ألا تتجاوز الجرعات الحدود التالية:

أ- حد الجرعة الفعالة 1 ميللي سيفرت في السنة عند تعرض الجسم بأكمله لمجال إشعاعي منتظم. ويجوز زيادة هذا الحد في إحدى السنوات إلى 2 ميللي سيفرت بشرط أن لا تتجاوز الجرعة الفعالة المتراكمة خلال أي خمس سنوات متعاقبة 5 ميللي سيفرت.

ب- الحد السنوي للجرعة المكافئة لعدسة العين لعموم البشر هو 15 ميللي سيفرت وللأيدي والأقدام هو 50 سيفرت.

وبالنسبة لباقي الأعضاء يمكن استخدام العلاقة (7-11) مع استخدام المعاملات الوزنية المبينة في جدول (7-2) لإيجاد حد الجرعة المكافئة للعضو إذا كانت هذه الجرعة لا تتجاوز التأثير الحتمي لهذا العضو.

8-4 التعرض في ظروف خاصة

8-4-1 التعرض المخطط في ظروف خاصة

The planned special exposure

في بعض الحالات الخاصة والنادرة تتطلب ظروف التشغيل والعمل ضرورة تواجد عدد قليل من العاملين في ظروف إشعاعية معينة، قد يتعرضون خلالها لجرعة إشعاعية تزيد على الحدود التي أوصت بها اللجنة. في مثل هذه الحالات التي لا تتوفر معها وسيلة بديلة

لتعرض هؤلاء العاملين فإنه يسمح لأقل عـدد ممكـن مـن العـاملين بالتعرض لجرعة لا تتعدى 50 ميللي سيفرت للجسم ككل فـي المـرة الواحدة، ولا تزيد على خمسة أضعاف الجرعة السنوية (أي 100 ميللي سيفرت) طوال العمر كله. وفي مثل هذه الحالات لا يسمح بأي حال من الأحوال لأي عامل يكون قد سبق له التعرض لخمسة أضعاف الجرعـة السنوية بأن يشترك في هذا التعرض. كذلك، تمنع السـيدات فـي سـن الإنجاب من الاشتراك في هذا التعرض.

8-4-2 التعرض في ظروف الطوارئ الإشعاعية
Exposure in emergencies and accidents

في حالات الطوارئ والحوادث الإشعاعية لا توجد حدود معينة للجرعات الإشعاعية ويجوز السماح بالتعرض لجرعات أعلـى. وقد أقرت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية أنه لا يمكن إصـدار توصيات خاصة بحدود الجرعات أو المستوى الإشـعاعي فـي حالات الطوارئ والحوادث الإشعاعية، نظرا لاختلاف طبيعتها.

ولخفض التعرضات الناتجة عن الحادث المعين (سواء بالنسـبة للعاملين أو لعامة الجمهور) فإنه يجب الالتزام بوجود خطـة طـوارئ تفصيلية وتدريب العاملين علي تنفيذ هذه الخطط وعلى مواجهة عدد من الطوارئ الوهمية.

وعند وضع خطة الطارئ يجب الالتزام بالبنود الرئيسة التالية:

أ- محاولة خفض التعرض إلى أقل قيمة ممكنة ومحاولـة تلافـي الجرعات الأعلى من حدود الجرعات الفعالة أو المكافئة.
ب- استعادة السيطرة على الموقف بأسرع ما يمكن.
ج- الحصول على المعلومات الخاصة بأسـباب الحـادث وتطـوره والتصرف تبعا لذلك.

وفي حالات الطوارئ يمكن أن يتعرض بعض المتطوعين إلـى جرعات عالية بغرض إنقاذ الأرواح البشرية أو منع حـدوث أضـرار

جسيمة أو وقف تطور الحادث. ويصعب هنا وضع حدود معينة للجرعات حيث تختلف الظروف من حادث إلى آخر. ولكنه من المحتمل أن يحصل بعض المتطوعين على جرعات تفوق حدود الجرعات الفعالة المخططة، وخصوصا إذا كان الأمر يتعلق بإنقاذ حياة بعض البشر. وعند إجراء عمليات الإنقاذ قد يكون من الصعب القيام بالأعمال الخاصة بتحديد المستويات أو معدل الجرعات الإشعاعية. ولكنه يجب تنفيذ هذه الأعمال على وجه السرعة من قبل شخص أو أشخاص مؤهلين وذلك بغرض اتخاذ القرار على ضوء المعلومات التي ستوفرها المجموعة المؤهلة .

ومن المحتمل أن تصل الجرعة للشخص القائم بالإنقاذ إلى 1 غراي. ويسمح بالحصول على مثل هذه الجرعة إذا كان الأمر يتطلب إنقاذ حياة البشر. أما إذا تطلب القيام بالعملية الحصول على جرعة أكبر من 1 غراي فإنه في هذه الحالة يجب الحكم بعناية والموازنة بين القيام بالمخاطرة ونتائج العملية. ومن أهم المبادئ الأساسية التي يجب الالتزام بها في هذه الحالات مايلي:

أ- إن يكون الهدف من وراء هذا التعرض هو إنقاذ الأرواح.
ب- أن يكون التعرض تطوعيا ولا يفرض على أحد مع إدراك المتطوع إدراكا كاملا بالمخاطر التي قد تقع عليه بما فيها الموت.
ج- أن يكون المتطوع ملما بالعمل الذي سيقوم به ومدربا على تنفيذه.

وعموما يتوقف اتخاذ قرار التعرض التطوعي في الحالات الطارئة على:

أ- مدى دقة المعلومات الخاصة بمعدل الجرعة في منطقة الحادث.
ب- ظروف المصابين ومدى احتمال بقائهم على قيد الحياة.

فعلى سبيل المثال إذا كان معدل الجرعة الذي تم تقـديره أقـل مرتين من المعدل الحقيقي للجرعة يمكن أن يحصـل الشـخص القـائم بالإنقاذ على جرعة كافية لإصابته إصـابة خطيـرة بأحـد الأمـراض الفورية.

8-5 أسئلة ومسائل للمراجعة

1- ما معنى الحد الأقصى المسموح للجرعة؟، وكيف تطـور هـذا المفهوم حاليا؟

2- ما هي الخطوط العريضة لنظام حدود الجرعات التي أوصت بها اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية عام 1977م.

3- ما هي التأثيرات الحتمية والعشوائية؟، اذكر بعـض الأمـراض التي تنتمي لكل منها.

4- اشرح مفهوم التبرير ومعنى مصطلح أقل ما يعقل إنجازه.

5- ما هي حدود الجرعات السنوية للتـأثيرات العشـوائية بالنسـبة للعاملين المهنيين؟، وما هي حدود الجرعات المكافئة؟

6- ما هي حدود الجرعات السنوية الفعالة للتـأثيرات العشـوائية لعامة الجمهور؟، وما هي حدود الجرعات المكافئة لهم.

7- تعرض أحد الفنيين لمجـال إشـعاعي غيـر منـتظم، وكانـت الجرعات الفعالة والمكافئة التي حصل عليها كالتالي:
الجرعة الفعالة لكامل لجسم 10 ميللي سيفرت.
الجرعة المكافئة للرئة 40 ميللي سيفرت.
فما هي الجرعة الفعالة التي يمكن أن يتعرض لها نخاعه الشوكي بحيث لا تتعدى الجرعة الفعالة الكلية لهذا الشخص حد الجرعـة السنوية.

8- ما هو الفرق بين أماكن الفئة أ وأماكن الفئة ب؟.

9- ما هي حدود التعرض في الظروف الخاصة؟ وما هي تلك الظروف؟.

10- ما هي حدود التعرض في حالات الطوارئ والحوادث الإشعاعية.

11- ما هي الخطوط العريضة لخطة الطوارئ الإشعاعية.