

## الفصل السابع

### وحدات قياس الجرعات الإشعاعية Units of radiation dosimetry

- 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 وفقد 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.

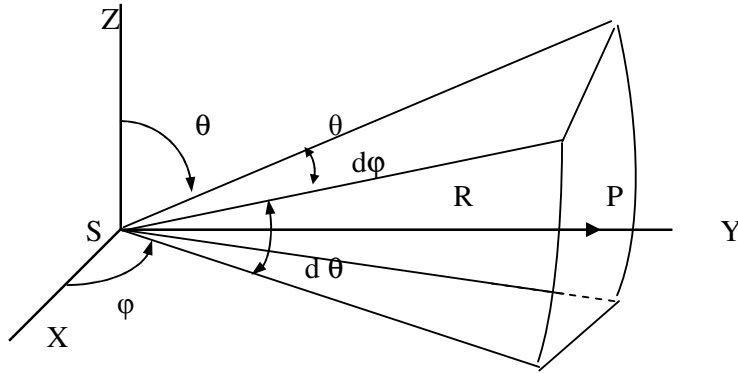
لذلك، فإنه لوقاية الكائنات الحية عموما - بما فيها الإنسان - من التعرض للإشعاعات المؤينة يجب الكشف عن وجودها وتحديد كمياتها ومستوياتها الإشعاعية في جميع الأماكن التي يمكن أن توجد فيها. ويختص هذا الفصل بالتعرف على الوحدات المستخدمة لقياس كميات الإشعاعات (المستويات الإشعاعية) والجرعات الإشعاعية.

## 2-7 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  $1 \text{ سم}^2$  ( 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 (1-7) كيفية حساب كثافة التدفق  $\phi$  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:

$$\phi = S / A \quad (7-1)$$



شكل (1-7)

كيفية حساب كثافة التدفق عند نقطة P من مصدر نقطي

حيث  $S$  شدة المصدر (بوحدته 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  $\Phi$  (بوحدته جسيم/سم<sup>2</sup>.ثانية) هي:

$$\phi = S / 4 \pi R^2 \quad (7-2)$$

أي أن كثافة التدفق  $\phi$  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 وطاقتها. فإذا كان لهذه الإشعاعات نفس مقدار الطاقة  $E$  تكون كثافة تدفق الطاقة  $\Phi$  هي عبارة عن:

$$\Phi = E \phi \quad (7-3)$$

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

$$\Phi = \int_0^{E_{\max}} \phi dE \quad (7-4)$$

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 ليبدل على مفهومي، أحدهما عام والآخر فيزيائي. وبالمفهوم العام، يستخدم مصطلح التعرض للدلالة على التعرض للإشعاعات المؤينة. وبهذا المفهوم قد يكون التعرض خارجياً (external exposure)، أي ناتجاً عن مصدر مشع موجود خارج الجسم، وقد يكون داخلياً (internal)، أي ناتجاً عن اندخال مادة مشعة داخل الجسم. وبهذا المفهوم أيضاً، قد يوصف التعرض بالمهني (occupational) أي تعرض الأشخاص الذين يمتنون العمل بالإشعاعات المؤينة، أو الطبي (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. وفضلاً 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 يتكبدتها عضو أو نسيج من أعضاء أو أنسجة الكائن الحي، أو يتعرض لها جسمه ككل. فعند تعرض الخلايا الحية للإشعاعات المؤينة تمتص هذه الخلايا جزءاً 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 الهواء الجاف للأشعة السينية أو إشعاعات جاما منخفضة الطاقة (حتى 3 ميغا إلكترون فولت) عند الظروف المعيارية للضغط الجوي ودرجة الحرارة.

وأنسب طريقة لقياس كمية الإشعاعات التي يتعرض لها جسم الكائن الحي ( أي التعرض ) هي قياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن تأين الهواء في هذه الظروف. لذلك، فقد اتفق على اعتبار التعرض هو عبارة عن كمية التأين الناتجة عن الإشعاعات السينية أو إشعاعات جاما في وحدة الحجم ( أي 1 سم<sup>3</sup> ) من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية ( أي عند درجة حرارة صفر م° وعند ضغط مقداره 760 ملليمتر زئبق ).

### وحدة قياس التعرض - الرينتجن (R) Roentgen

يقاس التعرض بوحدة تعرف بالرينتجن (Roentgen) تخليداً لذكرى العالم الذي اكتشف الأشعة السينية. وتستخدم هذه الوحدة لقياس 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 أنه كمية الإشعاعات السينية ( أي التعرض ) التي تؤدي إلى إنتاج شحنة كهربائية ( سالبة أو موجبة ) مقدارها وحدة واحدة كهروستاتيكية (1 esu) في اسم<sup>3</sup> من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية، أي أن:

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

وحيث إن كافة الهواء عند الظروف المعيارية هي 0.001293 جم/سم<sup>3</sup> ، وأن الوحدة الكهروستاتيكية مرتبطة بوحدة الكولوم C بالعلاقة:

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

فقد أصبح تعريف الرينتجن R طبقاً لنظام الوحدات المعيارية الدولية (SI) هو:

$$\begin{aligned} 1 R &= 1 \times (1/3 \times 10^9) \div 0.001293 \\ &= 2.58 \times 10^{-7} \text{ Coulomb/gram} \end{aligned}$$

أي أن:

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

أي أن الرينتجن هو التعرض الذي يؤدي إلى إنتاج شحنة كهربائية موجبة أو سالبة مقدارها  $2.58 \times 10^{-4}$  كولوم في كل كجم من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية. وحيث أن شحنة الإلكترون أو الأيون تساوي  $1.6 \times 10^{-19}$  كولوم فإن هذا يعني أن الرينتجن الواحد ينتج عدداً من الأزواج الإلكترونية الأيونية n مقداره:

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

في كل كيلوجرام من الهواء الجاف في الظروف المعيارية.

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

$$\begin{aligned} \epsilon &= 34 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 5.44 \times 10^{-18} \text{ Joules} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} E &= \epsilon \times n \\ &= 5.44 \times 10^{-18} \times 1.61 \times 10^{15} \\ &= 0.00876 \text{ (joules/ kg)} \end{aligned}$$

وعلى الرغم من أن وحدة الرينتجن مازالت مستخدمة في بعض الأحيان، إلا أن الوحدة ليست كافية لأنها لا تنطبق سوى على

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 ( 0.0096 : 0.00876) في الحساب.

#### 4-7 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).

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

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

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

وحيث أن:  $1 \text{ إرج} = 10^{-7} \text{ جول}$ ، فإن:

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

### 2-4-7 الغراي وحدة الجرعة الممتصة في النظام المعياري

#### The Gray (Gy)

طبقاً لنظام الوحدات المعيارية الدولية (SI) فقد استخدمت وحدة جديدة لقياس الجرعة الممتصة هي غراي (Gray - Gy) نسبة إلى العالم الفيزيائي غراي الذي كان أول من أوجد الطرق العلمية الدقيقة لقياس الجرعة الممتصة. والغراي هو جرعة من الطاقة الممتصة مقدارها واحد جول لكل كغم من المادة، أي أن:  $1 \text{ جراي} = 1 \text{ جول لكل كغم من المادة}$

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

### 5-7 التكافؤ بين الرينتجن والراد

تجدر الإشارة إلى أنه في معظم الأحيان يتم تدرج أجهزة قياس الجرعات بوحدة الرينتجن، وذلك بغرض قياس التعرض. كذلك، يلاحظ أن العديد من جداول الجرعات موضوعة بوحدة الراد. لذلك، يجب معرفة علاقات التكافؤ بين هاتين الوحدتين لإجراء التحويلات اللازمة من قراءة الجهاز بالرينتجن إلى قيمة الجرعة الممتصة بالراد أو الغراي.

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



من جسم الإنسان. ولما كان الراد هو 0.01 جول/كجم 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.

## **6-7 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.

### **1-6-7 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 المعنية 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.

#### 2-6-7 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 (أو الوزني) 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 (1-7) قيم العامل المرجح للإشعاع  $W_R$  لبعض الإشعاعات عند طاقات مختلفة.

#### جدول (1-7)

قيم العامل المرجح للإشعاع  $W_R$  للإشعاعات والطاقات المختلفة

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

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

## 2-6-7 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:

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

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  $H_T$  .

## 4-6-7 وحدات قياس الجرعة المكافئة

تقاس الجرعة 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 (The rem) Roentgen equivalent man

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 طبقاً للعلاقة (7-10):

### وحدة سيفرت (Sv) The Sievert

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 جراي (Gy).

### مثال :

في إحدى السنوات تعرضت رتناً أحد العاملين في مختبر نووي للجرعات التالية: 0.02 جراي (2 راد) نيوترونات حرارية (أي بطاقة أقل من 10 ك.إف)، 0.05 جراي (5 راد) نيوترونات بطاقة 14 م.إف، 0.8 جراي (80 راد) إشعاعات جاما. احسب الجرعة المكافئة في رتني 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 جراي نحصل على الجرعة المكافئة بوحدة سيفرت كالآتي:

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

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

$$= 0.1 + 0.5 + 0.8$$

$$= 1.4 \quad (\text{Sv})$$

أي أن الجرعة المكافئة في رتتي العامل = 1.4 سيفرت

وعند التعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة راد نحصل على  
الجرعة المكافئة في الرتتين بوحدة رم كالاتي:

$$\begin{aligned} H &= 5 \times 2 + 10 \times 5 + 1 \times 80 \\ &= 10 + 50 + 80 \\ &= 140 \quad (\text{rem}) \end{aligned}$$

أي أن الجرعة المكافئة في رتتي العامل = 140 رم.  
وباستخدام العلاقة بين الغراي والراد (العلاقة 7-9) يتضح أن العلاقة  
بين السيفرت والرم هي:

$$1 \text{ سيفرت} = 100 \text{ رم}$$

وهي العلاقة التي أوضحها المثال السابق.

### 3-6-7 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 (2-7) قيم العوامل المرجحة للأنسجة المختلفة للجسم البشري.

### 3-6-7 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:

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (7-11)$$

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

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

0.05	باقي الأعضاء
1.00	كامل الجسم

### 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 ميلي رم ( 1.5 ميلي سيفرت) للرتنين، 500 ميلي رم ( 5 ميلي سيفرت ) للمعدة، 100 ميلي رم ( 1 ميلي سيفرت) للاثني عشر، 250 ميلي رم (2.5 ميلي سيفرت ) للقولون، 50 ميلي رم ( 0.5 ميلي 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 أجزاءه، وبايجاد قيم العوامل المرجحة  $W_T$  للأنسجة والأعضاء من جدول (7-2) تكون الجرعة الفعالة بالسيفرت أو أجزاءه هي:

$$\begin{aligned} E &= \sum_T W_T H_T \\ &= 0.12 \times 150 + 0.12 \times 5 + 0.05 \times 1 + 0.12 \times 2.5 + 0.20 \times 0.5 \\ &= 0.18 + 0.60 + 0.05 + 0.30 + 0.10 \\ &= 1.23 \quad \text{m Sv} \end{aligned}$$

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 1.23 ميلي سيفرت.

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

$$\begin{aligned} E &= 0.12 \times 150 + 0.12 \times 500 + 0.05 \times 100 + 0.12 \times 250 + 0.20 \times 50 \\ &= 18 + 60 + 5 + 30 + 10 \\ &= 123 \text{ mrem} \end{aligned}$$

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 مقدره على الإنسان وملازمة له.

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

#### 4-6-7 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 $D^\circ$ 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  $D^\circ$  في مكان ما هو قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو أو الإنسان في وحدة الزمن، عند وجوده في هذا المكان، أي أن:

$$D = D^\circ \times t \quad (7-13)$$

**مثال:**

إذا كانت الجرعة الفعالة المسموح بها في الأسبوع هي 0.4 ميلي 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:**

$$D = D^\circ \times t$$

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

$$\begin{aligned} t &= D / D^\circ \\ &= 0.4 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-6} \\ &= 4 \text{ hours} \end{aligned}$$

## 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  $3 \times 10^{10}$  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 ميلي راد ، 5 راد ،  
3 ميكرورم ، 0.7 ميلي رم ، 2 رم
- 11- في أحد المختبرات النووية وضع فنيو الوقاية المعدلات التالية للتعرض:  
نيوترونات بطاقة 1-2 م.إ.ف. ، 2 ميلي راد/ساعة  
نيوترونات بطيئة بواقع 50 ميكرو راد/ساعة

إشعاعات جاما بواقع 4 ميلي رينتنج/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 ميلي راد/ساعة  
إشعاعات جاما 0.16 ميكورينتنج/دقيقة .  
احسب الجرعة المكافئة بالسيفرت لرئتي عامل مكث في هذا  
المختبر ثلاث ساعات، بفرض أنه لم يحدث له تلوث داخلي ولم  
يقترّب من الأسطح الملوثة.

13- إذا كانت الجرعة القصوى المسموح بها في السنة هي 20 ميلي  
سيفرت، وكانت قراءة الخلفية الإشعاعية في مختبر ما عبارة عن  
50 ميكوراد/ساعة لإشعاعات جاما، 5 ميكوراد/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 ميلي 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.

تم نشر هكنا الملف بواسطة قرص **تجربتي** مع الباكالوريا

[tajribatybac@gmail.com](mailto:tajribatybac@gmail.com)

[facebook.com/tajribaty](https://facebook.com/tajribaty)

[jjel.tk/bac](http://jjel.tk/bac)