الفصل الحادي عشر

الأخطار الإشعاعية الداخلية
Internal radiation Hazards

– مقدمة – مصادر الأخطار الداخلية – طـرق دخـول المـواد المشعة للجسم – الجرعة الناتجة عـن التلـوث الـداخلي بمـواد مصدرة لجسيمات بيتا – الجرعة المكافئة للتلوث الداخلي بمـواد مصدرة لجسيمات بيتا – الجرعة المكافئة للتلوث الداخلي بمـواد مصدرة لإشعاعات جاما – الحدود السنوية لابتلاع المواد المشعة –الرقابة على الأخطار الداخلية – تقسيم أماكن العمل والمختبرات – الملابس الواقية – مراقبة التلوث بالمواد المشـعة – الشـارات الدولية المميزة للإشعاعات – الشروط المطلوب توفرها في أماكن العمل بالإشعاعات والمواد المشعة – الكشف عن التلوث – علاج الأشخاص الملوثين – تخزين المواد المشعة – أسئلة ومسائل

11-1 مقدمة

تنشأ الأخطار الإشعاعية الداخلية عن التلوث بـالمواد المشـعة ودخلوها للجسم. وعموما، تنقسم المصادر المشعة إلى محكمة الإغـلاق وأخرى غير محكمة الإغلاق.

11-1-1 المصادر محكمة الإغلاق The sealed sources

هي تلك المصادر التي تكون المادة المشعة فيها موضوعة داخل إناء مغلق تمام الإغلاق وغير قابل للكسر. ولا يشكل هذا النـوع مـن المصادر أيا من الأخطار الداخلية، ولكنها يمكن أن تؤدي إلـى أخطـار خارجية نتيجة للتعرض للإشعاعات الصادرة عنها.

11-1-2 المصادر غير محكمة الإغلاق The unsealed sources

وهي تلك المصادر التي تكون المادة المشعة فيهـا موضـوعة داخل إناء غير محكم الغلق أو قابل للكسر وتشكل هذه المصادر خطورة

كبيرة نظرا لإمكانية تسرب المواد المشعة من الوعاء الحاوي وتلوث المكان والأجهزة والمعدات بها، وانتقال هذه المواد إلى داخل الجسم البشري (أو جسم الكائن الحي). وتزداد هذه الخطورة إذا كانت المادة المشعة في حالة سائلة أو غازية أو على شكل مسحوق.

وتجدر الإشارة إلى أن كمية صغيرة من المادة المشعة قد لا تشكل خطورة إشعاعية خارجية، إلا أن الكمية نفسها من هذه المادة يمكن أن تشكل خطورة داخلية كبيرة في حالة حدوث تلوث بها وتسربها إلى داخل الجسم. فعند دخول المواد المشعة للجسم تستمر هذه المواد في إصدار إشعاعاتها حتى يتم تفككها الإشعاعي أو خروجها من الجسم. ويتفاوت معدل التفكك للمواد المشعة من عدة ثوان إلى عدة مليارات السنين تبعا للعمر النصفي للمادة المشعة. كما يعتمد معدل إخراج هذه المواد من الجسم على عدة عوامل أهمها نوع المادة المشعة وخصائصها الكيميائية والطبية. ويمكن أن يستغرق إخراج هذه المادة من الجسم فترات متفاوتة تتراوح بين عدة أيام وعدة عشرات من السنين.

11-2 مصادر الأخطار الداخلية

تتوقف الأخطار الإشعاعية الداخلية على كمية المادة المشعة التي تدخل الجسم (أو العضو المعين) وكذلك على نوع الإشعاعات التي تصدرها هذه المادة وطاقتها، وعلى الخصائص الفسيولوجية للجسم. وتعتبر المواد التي تصدر جسيمات ألفا (وهي المصادر التي لا تشكل خطورة إشعاعية خارجية) من أخطر مصادر الأخطار الداخلية. ويرجع السبب في ذلك إلى:

1- صغر مدى جسيمات ألفا في الجسم البشري حيث لا يتجاوز عدة أجزاء مئوية من المليمتر.
2- قدرة جسيمات ألفا الفائقة على التأيين.
3- كبر التأثير البيولوجي النسبي لهذه الجسيمات.
4- طول العمر النصفي لجميع المصادر المشعة لجسيمات ألفا.
5- صعوبة إخراج النظائر من الجسم البشري.

وعند دخول أحد النظائر التي تصدر جسيمات ألفا إلى الجسم فإنها يمكن أن تتركز في أحد الأعضاء الحيوية وتؤدي بالتالي إلى تلفه. لذلك، لا تستخدم مصادر جسيمات ألفا (خاصة ذات العمر النصفي الكبير) في أغراض التشخيص.

أما بالنسبة للنظائر إلى تصدر جسيمات بيتا فعلى الرغم من ضعف التأثير البيولوجي النسبي لهذه الجسيمات وكبر مداها (بالمقارنة بجسيمات ألفا) إلا أنه عند دخول هذه النظائر للجسم فإنها يمكن أن تؤدي إلى حدوث أضرار جسيمة بالأعضاء التي تتركز فيها بل وبالأعضاء المحيطة بها.

ويعتبر نظير السترونشيوم 90 أحد مصادر الخطورة الداخلية. فالعمر النصفي لهذه النظير 28 سنة، وهو ينتج عن الانشطار النووي لليورانيوم. لذلك، يوجد هذا النظير ضمن الغبار الذري الذي ينتج عن التفجيرات النووية ويزداد تركيزه في الغبار الناتج عن هذه التجارب. كما أن نظير السترونشيوم 90 ينتج نظير الإيتريوم 90 (Yttrium - 90) وهو بدوره مشع لجسيمات بيتا. والسترونشيوم من المواد التي تستقر في العظام مما يجعل عملية إخراجه من الجسم في غالية الصعوبة. لذلك، يعتبر السترونشيوم أحد مصادر الأخطار الداخلية الرئيسة.

كذلك، يشكل اليود 131 أحد الأمثلة لمصادر الأخطار الداخلية. ويصدر هذه النظير جسيمات بيتا وإشعاعات جاما بعمر نصفي مقداره ثمانية أيام. ويستخدم هذا النظير لعلاج وتشخيص أمراض الغدد حيث يتركز فيها. لذلك، فهو يشكل خطورة إشعاعية داخلية على الفنيين والأطباء الذين يتعاملون به بصفة مستمرة.

أما بالنسبة لمصادر إشعاعات جاما فإن الخطورة الداخلية المترتبة عليها يمكن اعتبارها محدودة بالمقارنة بالخطورة المترتبة عن كل من جسيمات ألفا أو بيتا.

11-3 طرق دخول المواد المشعة للجسم

تتمثل طرق دخول المواد المشعة إلى الجسم في الطرق التالية:

أ- استنشاق الهواء الملوث بالمواد المشعة.

ب- بلع المواد المشعة أو دخولها مع الطعام بسبب تلوث اليدين.

ج- الدخول عن طريق الجلد أو الجروح أو الخدوش .

فعند تلوث الهواء الجوي بالمواد المشعة تدخل هذه المواد إلى الرئتين، ويمر جزء منها إلى الدم مباشرة عن طريق الحويصلات الهوائية. وهناك جزء آخر يمكن أن يترسب في الرئة والقصبة الهوائية ثم يصل إلى البلعوم ويدخل إلى المعدة. وتتوقف نسبة الجزء الممتص مباشرة في الدم إلى الجزء الذي يصل للمعدة على نوع المادة المشعة وحالتها وتركيبها الكيميائي وخواصها الفيزيائية.

أما عند بلع المواد المشعة فإنها تصل بدورها للمعدة ومنها للأمعاء، حيث يمكن أن تمتص بواسطتها وتمر إلى الدم. أما في حالة تلوث الجلد الخارجي أو تلوث الجروح بالمواد المشعة فإن هذه المواد يمكن أن تصل مباشرة للدم وتنتقل معه إلى جميع أجزاء الجسم.

11-3-1 مواصفات الشخص المعياري

تتفاوت الخصائص الفسيولوجية للبشر تفاوتا ملحوظا من وجهة نظر الوقاية الإشعاعية. لذلك، حددت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية إنسانا معياريا (reference man) بمواصفات معينة وهي المواصفات المبينة في الجداول (11-1) حتى (11-3).

ويستخدم هذا الشخص المعياري في إجراء الحسابات الخاصة بالجرعات الإشعاعية. وتعتبر القيم الناتجة بمثابة متوسط حسابي للبشر عموما.

وقد سبقت الإشارة إلى أن بعض المواد المشـــعة تتركـــز فـــي أعضاء بشرية معينة . فعلى سبيل المثال، يتركز اليود في الغدد خاصة

جدول (11–1)
مواصفات الإنسان المعياري

اسم العضو	الكتلة (كجم)	النسبة الوزنية %	نصف القطر الفعال (متر)
الجسم ككل	70	100	0.30
الهيكل العظمي (بدون نخاع)	7	10	0.05
العضلات	30	43	0.30
الدهن	10	14	0.20
الدم	5.4	7.7	–
الأمعاء	2.0	2.9	0.30
الغدد	0.02	0.029	0.03

جدول (11–2)
معدلات الإدخال والإخراج اليومي

الإدخال (لتر/يوم)		الإخراج (لتر/يوم)	
طعام	1	بول	1.4
سوائل	1.2	عرق	0.6
أكسجين	0.3	أبخرة في الرئة	0.3
		براز	0.2
المجموع	2.5	المجموع	2.5

جدول (11–3): كمية الهواء المستنشق

العملية	الكمية
السعة الحيوية للرئة عند الرجل	3–4 لتر
السعة الحيوية للرئة عند المرأة	2–3 لتر
حجم الهواء المستنشق خلال سافات العمل الثمانية	10 متر^3
حجم الهواء المستنشق خلال الســاعات الســتة عشــر الأخرى	10 متر^3

حجم الهواء المستنشق في اليوم	20 متر^3

الدرقية، في حين يتركز السترنشيوم في العظام، والبلوتونيوم في الرئتين والعظام، والسيزيوم في الأنسجة العضلية. وتتوزع بعض المواد المشعة توزعا متجانسا على جميع أعضاء الجسم.

11-4 حساب الجرعة الناتجة عن التلوث الداخلي

11-4-1 الجرعة المكافئة الأولية لملوثات بيتا

لحساب مقدار الجرعة المكافئة الناتجة عن دخول (اندخال) المواد المشعة لجسيمات بيتا إلى عضو معين يجب أولا إيجاد معدل الجرعة الأولية H^*_0 التي يتعرض لها هذا العضو بمجرد تركيز هذه المواد فيه (أي عند الزمن t = صفر). ويتم ذلك باتباع الخطوات التالية:

أ- تحديد كتلة العضو المطلوب إيجاد معدل الجرعة الأولية فيه.

ب- تحديد النشاط الإشعاعي S للنظير المشع (بالميغابيكريل) في هذا العضو. وبقسمة النشاط الإشعاعي S على كتلة العضو m بالجرام نحصل على تركيز المواد المشعة C فيه (بالميغابيكريل/جم) .

ج- تحديد قيمة الطاقة المتوسطة E (بالميغا إلكترون فولت) لجسيمات بيتا الصادرة عن هذا النظير. ونظرا لقصر مدى جسيمات بيتا في الجسم البشري تمتص هذه الطاقة بأكملها داخل الجرام الواحد. وبذلك، يكون معدل الطاقة الممتصة في الجرام الواحد في الثانية هو C x E .

د- تحويل معدل الطاقة الممتصة إلى معدل الجرعة المكافئة H^*_0 (1راد = 6.25×10^7 م.إ.ف/غم، والعامل المرجح للإلكترونات = 1)، وبذلك يكون معدل الجرعة المكافئة بالميللي سيفرت/ساعة هو:

$$H^*_0 = 575\ C \times E \qquad mSv/h \qquad (11\text{-}1)$$

وذلك عندما تكون C بالميغا بيكريل/جم، E بالميغا إلكترون فولت

مثال:

احسب معدل الجرعة المكافئة الأولية H^*_0 الناتج عن ابتلاع 5 ميللي كوري من ماء التريتيوم المشع، إذا علمت أن متوسط طاقة جسيمات بيتا الصادرة من التريتيوم هو 0.006 م.إ.ف.

الحل:

تنشر هذه الكمية من ماء التريتيوم في الماء الموجود في الجسم البشري الذي تقدر كميته بحوالي43 كجم. وعند حساب النشاط الإشعاعي بالميغا بكرل عن الكمية المبتلعة تكون:

$$A = 5 \times 3.7 \times 10^{7} \times 10^{-6}$$

$$= 185 \quad MBq$$

وبالتالي، يكون تركيز المادة المشعة في ماء الجسم هو:

$$C = 185 / 43000$$

$$= 4.3 \times 10^{-3}$$

وباستخدام العلاقة (11–1) يكون معدل الجرعة المكافئة هو:

$$H^*_0 = 575 \times 4.3 \times 10^{-3} \times 0.006$$

$$= 1.48 \times 10^{-2} \quad mSv/h$$

11–4–2 تغير معدل الجرعة مع الزمن

عند دخول المواد المشعة لعضو معين يتناقص معدل الجرعة المكافئة التي تودع في العضو مع مرور الزمن نتيجة لكل من:

أ– التفكك الإشعاعي للمادة المشعة.

ب– تناقص كمية المادة في العضو نتيجة لعمليات الإخراج البيولوجي.

فمن المعروف أن النشاط الإشعاعي للمادة المشعة يتناقص أسا مع الزمن (راجع الفصل الثاني). كذلك، فإنه لوحظ أن معدل إخراج معظم المواد من الجسم البشري يمكن اعتباره خاضعا لقانون أسي مماثل

لقانون التفكك الإشعاعي. أي أن كمية المادة في الجسم تحكمها العلاقة التالية:

$$S = S_0 e^{-\lambda b\, t}$$

حيث S هي كمية المادة المشعة المتبقية في العضو بعد زمن مقداره t ، S_0 هي كمية المادة المشعة التي تركزت في العضو عند لحظة $t = 0$ ، λ_b يعرف بثابت الإخراج البيولوجي، وهو مماثل تماما لتعريف ثابت التفكك الإشعاعي، إذ إنه عبارة عن احتمال إخراج نواة مشعة واحدة من العضو في وحدة الزمن. ويختلف هذا الثابت باختلاف نوع النظير المشع. كما يختلف اختلافا طفيفا من شخص لآخر، ولكن لأغراض الوقاية الإشعاعية يمكن اعتباره ثابتا. ويرتبط ثابت التفكك البيولوجي λ_b بالعمر النصفي البيولوجي للمادة المشعة في العضو بعلاقة مماثلة للعلاقة بين ثابت التفكك الإشعاعي والعمر النصفي للنظير، أي أن:

$$\lambda_b = \ln 2 / T_b \qquad (11\text{-}2)$$

ويبين جدول (11–4) العمر النصفي البيولوجي لبعض المواد.

جدول (11–4): خصائص بعض بواعث بيتا

النظير	العمر النصفي	العمر النصفي البيولوجي	متوسط الطاقة م.إ.ف
التريتيوم $^{3}_{1}H$	4480 يوما	0.058 يوم	0.006
اليود 131	8.05 يوما	69 يوما	0.187
سترونشيوم 90	28 سنة	48سنة	0.21
إيتريوم 90	64 ساعة	–	0.89

وحيث أن كل من عمليتي التفكك الإشعاعي والإخراج الأحيائي يسهمان في تناقص المادة المشعة من الجسم فإنه يجب تعريف ثابت جديد يعرف باسم ثابت التفكك الفعال λ_{eff} .

ثابت التفكك الفعال (λλ eff) The effective decay constant

هو عبارة عن مجموع كل من ثابت التفكك الفيزيائي λ p λ للمادة المشعة الذي تعرفنا عليه في الفصل الثاني وثابت التفكك البيولوجي λ b ، أي أن:

$$\lambda eff = \lambda p + \lambda b \qquad (11\text{-}3)$$

العمر النصفي الفعال (T_{eff}) Effective Half life

يرتبط ثابت التفكك الفعال λλ eff بالعمر النصفي الفعال T_{eff} بعلاقة مماثلة تماما لنفس العلاقة بين ثابت التفكك الفيزيائي والعمر النصفي، أي أن:

$$\lambda_{eff} = \ln 2 / T_{eff} \qquad (11\text{-}4)$$

وبذلك يمكن تحديد T_{eff} من العلاقة (11–3) كالآتي:

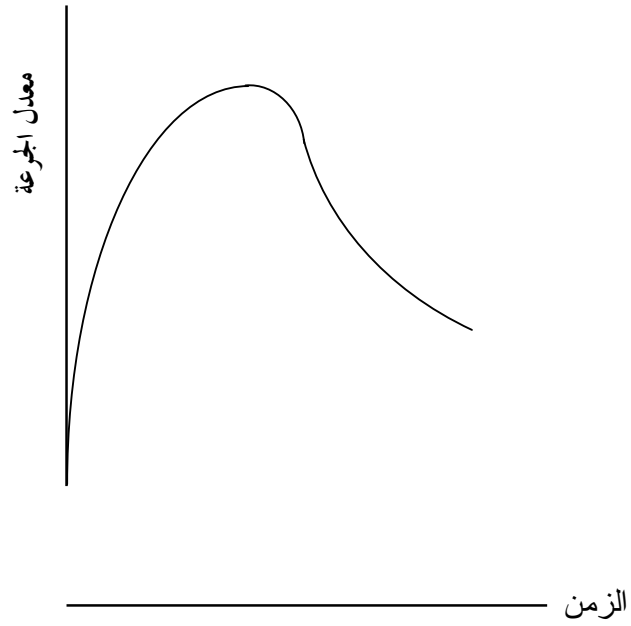
$$1 / T_{eff} = (1 / T_p) + (1 / T_b)$$

أي أن:

$$T_{eff} = (T_p T_b) / (T_p + T_b) \qquad (11\text{-}5)$$

والعمر النصفي الفعال هو الزمن الذي تنخفض خلاله كمية الإشعاعات الموجودة في العضو إلى النصف نتيجة لكل من التفكك الإشعاعي والإخراج البيولوجي.

ويبين شكل (11–1) كيفية تغير معدل الجرعة كدالة من الزمن بعد دخول المادة المشعة للجسم. فعند دخول هذه المادة للجسم تنتقل إلى العضو المعين ويزداد تركيزها بالتدريج إلى أن تصل إلى أعلى قيمة. وهذا ما يوضح الزيادة السريعة في معدل الجرعة بعد دخول المادة. وتصل الجرعة إلى أقصى قيمة لها عند وصول التركيز إلى أعلى قيمة له ثم تبدأ الجرعة في التناقص أسيا نتيجة لكل من التفكك الإشعاعي وعملية الإخراج البيولوجي.



شكل (11-1)
تغير معدل الجرعة كدالة من الزمن بعد دخول المادة المشعة للجسم

11-4-3 الجرعة المكافئة الكلية المتراكمة

تحدد الجرعة المكافئة المتراكمة في عضو معين (أو في الجسم كله) بمعرفة الجرعة الأولية H_0 والعمر النصفي الفعال T_{eff} . فالجرعة المكافئة تتناقص كدالة من الزمن طبقا للعلاقة:

$$H_t = H_0 \, e^{-\lambda_{eff} t} \qquad (11\text{-}6)$$

وبتكامل هذه العلاقة الأخيرة بالنسبة للزمن يمكن تعيين الجرعة المكافئة المتراكمة كالآتي:

$$H_c = \int H_0 \, e^{-\lambda_{eff} t} \, dt \qquad (11\text{-}7)$$

فإذا كانت المدة أكبر من العمر النصفي الفعال بحوالي خمس مرات)، فإنه يمكن اعتبار أن المادة قد استنفذت، وتكون الجرعة المكافئة المتراكمة في العضو (أو الجسم) هي:

$$H_c = H_0 / \lambda_{eff} = H_0 T_{eff} / \ln 2$$
$$= 1.44 \times H_0 \times T_{eff} \qquad (11\text{-}8)$$

أما إذا كانت الفترة الزمنية مقارنة بالعمر النصفي الفعال أو أصغر منه فإنه يجب تعيين كمية المادة المتبقية في الجسم خلا هذه الفترة . فإذا كانت هي هي كمية المادة التي دخلت العضو تكون المادة المتبقية فيه بعد زمن مقداره هي:

$$f = S_0 e^{-\lambda_{eff} t} / S_0 \qquad (11\text{-}9)$$

وتكون نسبة الكمية المستهلكة التي أدت إلى تراكم الجرعة المكافئة هي:

$$(1- f)$$

لذلك، تتخذ العلاقة (11–8) الصورة التالية:

$$H_c = 1.44 \times H_0 \times T_{eff} (1-f) \qquad (11\text{-}10)$$

وبالتعويض عن قيمة من العلاقة (11–1)تصبح الجرعة المكافئة المتراكمة بالمللي سيفرت هي:

$$H_c = 830 \times C \times E \times T_{eff} (1- f) \qquad (11\text{-}11)$$

حيث C تركيز المادة المشعة بالميغابيكريل /غم ، E الطاقة المتوسطة لجسيمات بيتا بالميغا إلكترون فولت و T_{eff} العمر النصفي الفعال بالساعة .

مثال:

إذا كانت الجرعة المكافئة الابتدائية H_0 الناتجة عن الفسفور 32 في الجسم هي 100 ميللي رم/ساعة، احسب الجرعة المكافئة التي تتراكم في الجسم على مدى 31 يوما، علما بأن العمر النصفي للفسفور 32 هو 14.28 يوما والعمر النصفي البيولوجي له هو 48.12 يوما.

الحل:

يعين أولا العمر النصفي الفعال من العلاقة (11–5)

$$T_{eff} = 14.28 \times 48.12 / (14.28 + 48.12)$$
$$= 11.01 \quad \text{days}$$
$$= 11.01 \times 24 = 264.3 \quad \text{hours}$$

ثم يعين مقدار ثابت التفكك الفعال $\lambda\lambda_{eff}$ كما يلي:

$$\lambda_{eff} = 0.693 / 11.01 = 0.06294 \quad \text{day}^{-1}$$

ثم يعين مقدار f من العلاقة (11–9)

$$f = e^{-0.06294 \times 31} = 0.142$$

وباستخدام العلاقة (11–10) تكون الجرعة المكافئة المتراكمة هي:

$$H_c = 1.44 \times 100 \times 264.3 \times (1-0.142)$$
$$= 32654 \quad \text{mrem}$$
$$\approx 0.327 \quad \text{Sv}$$

11–5 حساب الجرعة المكافئة للتلوث الداخلي ببواعث جاما

عند دخول المواد المشعة لإشعاعات جاما إلى الجسم البشري فإنه يصعب تحديد الجرعة المكافئة الممتصة بدقة كبيرة. ويرجع السبب في ذلك إلى القدرة العالية لإشعاعات جاما على الاختراق، وبالتالي لا تفقد هذه الإشعاعات طاقتها في حيز صغير (وحدة الحجم مثلا) وإنما تحتاج لمسافات كبيرة نسبيا حتى تفقد كل طاقتها.

وتوجد عدة طرق لحسب الجرعة المكافئة الناتجة عن تلوث الجسم بالمواد المصدرة لإشعاعات جاما. إلا أنه سوف يقتصر هنا على طريقة واحدة لحساب هذه الجرعة وهي الطريقة المستخدمة لحساب الجرعة المكافئة الناتجة عن التلوث الداخلي بمواد مشعة لبواعث بيتا. ولإمكان استخدام هذه الطريقة يجب إدخال معامل جديد على المعادلات (11–1) ، (11–10)، يعرف باسم معامل نسبة الامتصاص Ψ .

معامل نسبة الامتصاص ψ

هو عبارة عن نسبة الطاقة الممتصة في الجسم إلى الطاقة الكلية الصادرة من المادة المشعة الموجودة داخل الجسم. ويعتمد هذا المعامل على طاقة إشعاعات جاما وعلى الوضع الهندسي للمادة المشعة.

وبالرجوع إلى المعادلة (11-11) وأخذ المعامل Ψ في الحسبان فإنه يمكن إيجاد الجرعة المكافئة المتراكمة الناتجة عن التلوث الداخلي بمواد مصدرة لإشعاعات جاما من المعادلة التالية:

$$D_c = 830 \times C \times E\gamma \times T_e \times \Psi \times (1-f) \quad (11\text{-}12)$$

حيث H_c الجرعة المتراكمة خلال فترة محددة بالميللي سيفرت، C تركيز المادة المشعة في الجسم (بالميغا بكرل/جم)، $E\gamma_\gamma$ طاقة إشعاعات جاما بالميغا إلكترون فولت، T_e العمر النصفي الفعال بالساعات و f نسبة الجزء المتبقي في الجسم من المواد المشعة بعد مرور الفترة المحددة.

مثال:

احسب الجرعة المكافئة التي يتعرض لها مريض وزنه 70 كجم على مدى 7 أيام عند حقنه بكمية من الصوديوم 24 نشاطها الإشعاعي 500 ميكروكوري إذا علمت أن العمر النصفي الفعال للصوديوم 24 هو 15 ساعة وأنه يصدر إشعاعات جاما بطاقتين هما 1.37 ، 2.75 م.إ.ف.

الحل:

عندما يصدر المصدر إشعاعات بطاقات مختلفة يجب إيجاد الجرعات المكافئة الناتجة عن كل طاقة على حدة ثم تجمع هذه الجرعات المكافئة لإيجاد الجرعة الكلية.

يتم تعيين التركيز C كالآتي:

$$C = 500 \times 3.7 \times 10^{-4} \times 10^{-6} / 70000$$

$$= 2.64 \times 10^{-4} \quad MBq/gm$$

مقدار الزمن الفعال بالساعات هو:

$$T = 7 \times 24 = 168 \quad h$$

ومقدار الجزء المتبقي:

$$S = e^{-0.693 \times 168 / 15} \approx 0$$

مقدار المعامل للطاقة 1.37 م.إ.ف هو 0.307، بذلك تكون الجرعة المتراكمة عن الطاقة الأولى هي:

$$D_{c1} = 830 \times 2.64 \times 10^{-4} \times 1.37 \times 0.307 \times 15 \times (1-0)$$

$$= 1.38 \quad m\,Sv$$

مقدار المعامل للطاقة 2.75 م.إ.ف هو 0.0.268بذلك تكون الجرعة المتراكمة عن الطاقة الثانية هي:

$$D_{c2} = 830 \times 2.64 \times 10^{-4} \times 2.75 \times 0.268 \times 15 \times (1-0)$$

$$= 2.42 \quad mSv$$

بذلك تكون الجرعة الكلية هي:

$$D_c = 1.38 + 2.42 = 3.80 \quad mSv$$

6-11 الحد السنوي للاندخال The annual limit on intake ALI

هو عبارة عن كمية من المادة المشعة تبلغ الجرعة المتراكمة عنها في أعضاء الجسم حد الجرعة الفعالة للجسم كله (20 ميللي سيفرت في السنة). أي أنه يجب ألا يتجاوز حد الجرعة السنوي الناتج عن دخول هذه الكمية من المواد المشعة داخل الجسم (العضو المعين) قيمة حد الجرعة الفعالة للجسم كله بالنسبة للأخطار الخارجية العشوائية.

ويعتمد الحد السنوي للاندخال (ALI) من نويدة معينة على نوع هذه النويدة وعلى عمرها النصفي الفيزيائي والأحيائي وعلى سلوكها داخل الجسم البشري. كذلك، يعتمد هذا الحد على عمر الشخص وعلى النظام الغذائي له وأسلوب اندخال النويدة، سواء عن طريق البلع أو التنفس. وقد أوردت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية قيم معاملات تحويل الاندخال (بالبكرل) إلى جرعة فعالة ملازمة للشخص الذي تعرض لهذا الاندخال، سواء عن طريق البلع أو التنفس وذلك لجميع النويدات المشعة

وللمراحل العمرية المختلفة. ويبين جدول (11–5) قيم هذه المعـــاملات لخمس مراحل عمرية مختلفة (كالمبين في الجدول) عند الاندخال عـــن طريق البلع، كما يبين جدول (11–6) قيم المعاملات لـــنفس المراحـــل العمرية عند الاندخال عن طريق الاستنشاق (التنفس) وذلك لعـــدد مـــن النويدات المشعة.

جدول (10–5)
معاملات تحويل الاندخال بالبلع إلى جرعة فعالة ملازمة

اسم النويدة	معامل تحويل الاندخال إلى جرعة فعالة (سيفرت/بكرل) للأعمار				
	من سنة حتى 5 سنوات	من5 سنوات حتى10 سنوات	من10سنوات حتى 16سنة	من16سنة حتى18سنة	الشخص البالغ
ترتيوم 3	$10x4.3^{-11}$	$10x3.5^{-11}$	$10x2.4^{-11}$	$10x1.8^{-11}$	$10x1.8^{-11}$
كربون14	$10 x1.5^{-9}$	$10 x1.1^{-9}$	$10x8.5^{-10}$	$1 x5.6^{-10}$	$10 x5.6^{-10}$
فسفور32	$10 x1.8^{-8}$	$10 x1.1^{-8}$	$10 x6.0^{-9}$	$10 x3.3^{-9}$	$10 x2.6^{-9}$
كبريت35	$10x1.0^{-9}$	$10x6.2^{-10}$	$10x3.4^{-10}$	$10x1.8^{-10}$	$10x1.5^{-10}$
بوتاسيوم40	$10x3.3^{-8}$	$10x2.1^{-8}$	$10x1.1^{-8}$	$10x6.2^{-9}$	$10x5.0^{-9}$
كوبالت60	$10x1.3^{-8}$	$10x8.6^{-9}$	$10x5.4^{-9}$	$10x3.4^{-9}$	$10x3.0^{-9}$
جاليوم67	$10x1.5^{-9}$	$10x9.8^{-10}$	$10x5.6^{-10}$	$10x3.2^{-10}$	$10x2.6^{-10}$
سترنشيوم90	$10x1.2^{-8}$	$10x7.4^{-8}$	$10x4.4^{-8}$	$10x3.0^{-8}$	$10x2.8^{-8}$
نكنسيوم99م	$10x1.3^{-10}$	$10x8.1^{-11}$	$10x4.5^{-11}$	$10x2.6^{-11}$	$10x2.1^{-11}$
إنديوم114م	$10x4.4^{-8}$	$10x2.7^{-8}$	$10x1.5^{-8}$	$10x8.1^{-9}$	$10x6.4^{-9}$
يود 125	$10x6.6^{-8}$	$10x4.9^{-8}$	$10x3.8^{-8}$	$10x1.9^{-8}$	$10x1.5^{-8}$
يود129	$10x2.2^{-7}$	$10x1.8^{-7}$	$10x2.1^{-7}$	$10x1.1^{-7}$	$10x1.1^{-7}$
يود131	$10x1.8^{-7}$	$10x1.1^{-7}$	$10x6.0^{-7}$	$10x2.9^{-8}$	$10x2.3^{-8}$
سيزيوم134	$10x1.3^{-9}$	$10x1.3^{-9}$	$10x1.4^{-8}$	$10x1.9^{-8}$	$10x1.9^{-8}$
سيزيوم137	$10x9.9^{-9}$	$10x9.9^{-8}$	$10x1.0^{-8}$	$10x1.3^{-8}$	$10x1.3^{-8}$
بولنيوم210	10×4.2^{-6}	$10x2.6^{-6}$	$10x1.4^{-6}$	$10x7.7^{-7}$	$10x6.2^{-7}$
راديوم226	10×9.0^{-7}	$10x5.7^{-7}$	$10x3.5^{-7}$	$10x2.4^{-7}$	$10x2.2^{-7}$
راديوم228	10×1.1^{-6}	$10x7.0^{-7}$	$10x4.0^{-7}$	$10x2.8^{-7}$	$10x2.7^{-7}$
ثوريوم 232	10×3.1^{-6}	10×2.5^{-6}	10×2.1^{-6}	10×1.9^{-6}	10×1.8^{-6}
يورانيوم 238	10×1.5^{-8}	10×9.8^{-8}	10×5.9^{-8}	10×4.0^{-8}	10×3.6^{-8}
بلوتونيوم 239	10×6.4^{-7}	10×4.7^{-7}	10×3.6^{-7}	10×4.0^{-7}	10×2.8^{-7}

مثال:

تناول طفل رضيع في السنة الثانية من عمره طعاما غنيا بالبوتاسيوم الطبيعي، فإذا علمت أن كمية البوتاسيوم الموجودة في هذا الطعام هي 500 جرام، أوجد الجرعة الفعالة الملازمة لهذا الطفل بسبب هذا الطعام.

جدول (11-6)
معاملات تحويل الاندخال بالاستنشاق إلى جرعة فعالة ملازمة

اسم النويدة	معامل تحويل الاندخال إلى جرعة فعالة (سيفرت/بيكريل)للأعمار				
	من سنة حتى 5 سنوات	من 5سنوات حتى10 سنوات	من10سنوات حتى 16سنة	من16سنة حتى18سنة	الشخص البالغ
ترتيوم 3	$10x4.3^{-11}$	$10x3.5^{-11}$	$10x2.4^{-11}$	$10x1.8^{-11}$	$10x1.8^{-11}$
كربون14	$10 x1.5^{-9}$	$10 x1.1^{-9}$	$10x8.5^{-10}$	$1 x5.6^{-10}$	$10 x5.6^{-10}$
فسفور32	$10 x3.0^{-8}$	$10 x1.8^{-8}$	$10 x9.9^{-9}$	$10 x5.4^{-9}$	$10 x4.3^{-9}$
بوتاسيوم40	$10x2.2^{-8}$	$10x1.4^{-8}$	$10x7.5^{-9}$	$10x4.1^{-9}$	$10x3.3^{-9}$
كوبالت60	$10x2.2^{-7}$	$10x1.5^{-7}$	$10x9.1^{-7}$	$10x6.0^{-8}$	$10x5.6^{-8}$
سترنشيوم90	$10x1.9^{-6}$	$10x9.9^{-7}$	$10x5.7^{-7}$	$10x3.7^{-7}$	$10x3.5^{-7}$
يود 125	$10x4.1^{-8}$	$10x3.1^{-8}$	$10x2.4^{-8}$	$10x1.2^{-8}$	$10x9.6^{-8}$
يود131	$10x1.1^{-7}$	$10x7.6^{-8}$	$10x3.7^{-8}$	$10x1.8^{-8}$	$10x1.3^{-8}$
سيزيوم134	$10x8.5^{-9}$	$10x8.7^{-9}$	$10x9.2^{-9}$	$10x1.2^{-8}$	$10x1.2^{-8}$
سيزيوم137	$10x6.8^{-9}$	$10x6.6^{-9}$	$10x6.6^{-9}$	$10x8.2^{-8}$	$10x8.5^{-9}$
بولنيوم210	$10x1.3^{-5}$	$10x8.0^{-6}$	$10x4.4^{-6}$	$10x2.4^{-6}$	$10x1.9^{-6}$
راديوم226	$10x1.4^{-5}$	$10x8.5^{-6}$	$10x4.7^{-6}$	$10x2.6^{-6}$	$10x3.1^{-6}$
راديوم228	$10x6.8^{-6}$	$10x4.2^{-6}$	$10x2.3^{-6}$	$10x1.3^{-6}$	$10x1.1^{-6}$
ثوريوم232	$10x4.4^{-3}$	$10x3.3^{-3}$	$10x2.6^{-3}$	$10x2.3^{-3}$	$10x2.1^{-3}$
يورانيوم238	$10x1.3^{-4}$	$10x8.5^{-5}$	$10x5.0^{-5}$	$10x3.4^{-5}$	$10x3.4^{-5}$
بلوتونيوم239	$10x2.0^{-4}$	$10x1.4^{-4}$	$10x9.1^{-5}$	$10x6.9^{-5}$	$10x6.4^{-5}$

الحل :

نحسب أولا عدد ذرات البوتاسيوم N الموجودة في 500 جرام باستخدام عدد أفوجادرو والوزن الجزيئي للبوتاسيوم 39.

$$N = 6.02 \times 10^{23} \times 500 / 39 = 7.72 \times 10^{24}$$

وحيث أن البوتاسيوم 40 المشع موجـــود بصـــفة طبيعيـــة مـــع البوتاسيوم 39 بنسبة 11.7: 100000 ، يكون عدد ذرات البوتاســـيوم 40 هو:

$$N_{40} = 7.72 \times 10^{24} \times 11.7 / 100000 = 9.03 \times 10^{20}$$

وحيث أن النشاط الإشعاعي لعينة ما هو حاصل ضرب عـــددها الذري في ثابت التفكك لها يكون النشاط الإشعاعي A لهذه الكميـــة مـــن ذرات البوتاسيوم 40 (بالبكرل) هو:

$$A = 9.03 \times 10^{20} \times 0.693 / 1.28 \times 10^{9} \times 365.25 \times 24 \times 3600$$

$$= 15618 \quad Bq$$

$$E = 15618 \times 3.3 \times 10^{-8} = 0.000515 \quad Sv$$

$$= 0.52 \quad mSv$$

مثال:

يتناول الإنسان البالغ كمية من الطعام تقدر بحوالي 600 كجـــم سنويا، فإذا كانت الكمية التي يتناولها شخص ما ملوثة بالســـيزيوم 137 بتركيز مقداره 1000 بكرل/كجم، احسب الجرعـــة الفعالـــة الملازمـــة الناتجة عن هذا الطعام .

الحل:

تحسب أولا كمية النشاط الإشعاعي A الموجود في الطعام الـــذي يتناوله، وهي:

$$A = 600(kg) \times 1000(Bq/kg)$$

$$= 6 \times 10^{5} \quad Bq$$

وباستخدام معامل تحويل الاندخال بالبلع للسيزيوم 137 للشخص البالغ تكون الجرعة الفعالة الملازمة E هي:

$$E = 6 \times 10^{5} \times 1.3 \times 10^{-8}$$

$$= 7.8 \times 10^{-3}$$

$$= 7.8 \quad mSv$$

أي أن الشخص يتكبد جرعة فعالة ملازمة مقدارها 7.8 ميللي سيفرت، أي أكبر من الحد السنوي لعموم الجمهور بمقدار أربعة أضعاف تقريبا.

ويمكن إيجاد الحد السنوي للاندخال بنويدة معينة بالنسبة للعاملين بالمواد المشعة وذلك بقسمة حد الجرعة الخاص بالعاملين (وهو 20 ميللي سيفرت) على قيمة معامل تحويل الاندخال إلى جرعة فعالة الوارد في جدولي (11-5) ، (11-6).

مثال:

أوجد مقدار الحد السنوي للاندخال بالبلع وبالتنفس للعاملين المهنيين بالنسبة لكل من نظيري سترونشيوم 90 وراديوم 226.

الحل :

أولا يتم تعيين الحد السنوي للاندخال بالبلع باستخدام قيم معاملات التحويل من جدول (11-5) للسترونشيوم 90 والراديوم 226 للبالغين، كالآتي:

$$ALI_{(Sr\ 90)} = 20 \times 10^{-3} / 28 \times 10^{-8}$$
$$= 714286 \quad Bq$$
$$ALI_{(Ra\ 226)} = 20 \times 10^{-3} / 2.2 \times 10^{-7}$$
$$= 90909 \quad Bq$$

وتجدر الإشارة إلى أن حد التعرض المهني والمحدد بمقدار 20ميللي سيفرت/سنة هو حد إجمالي لجميع التعرضات الداخلية والخارجية. بمعنى أنه إذا تعرض أحد العاملين، في سنة معينة، لجرعة فعالة بسبب التعرض الخارجي مقدارها 15 ميللي سيفرت فإنه يجب ألا تتجاوز الجرعة الفعالة الملازمة الناتجة عن جميع أنواع الاندخال لجميع النويدات المشعة، في نفس السنة، لهذا العامل 5 ميللي سيفرت . وتمشيا مع هذا المبدأ تستخدم المتباينة التالية التي تربط كلا من التعرض الخارجي والداخلي بنويدات مختلفة بحد التعرض المهني والحد السنوي للاندخال ALI لكل نويدة .

$$(E / 20) + \sum (I_s / ALI_s \subseteq 1 \qquad (11\text{-}13)$$

حيث E الجرعة الفعالة السنوية التي يحصل عليها العامل من التعرض الخارجي بالميللي سيفرت ، I_s الاندخال السنوي للنويدة S ، ALI_s هو الحد السنوي للاندخال بهذه النويدة S ، ويتم الجمع بالنسبة لجميع النويدات التي يتم اندخالها.

مثال:

تعرض أحد العاملين بقسم من أقسام الطب النووي لاندخال يود 131 عن طريق الاستنشاق مقداره 3.08×10^{5} بكرل، واندخال تكنيسيوم 99م عن طريق تلوث الأيدي والبلع مقداره 3.8×10^{7} بكرل، احسب الحد الأقصى الذي يجب ألا يتجاوزه هذا العامل من التعرضات الخارجية.

الحل :

الحد السنوي لاندخال اليود 131 عن طريق التنفس:

$$ALI_{(I-131)} = 2 \times 10^{-3} / 1.3 \times 10^{-8}$$
$$= 1.54 \times 10^{6} \quad Bq$$

الحد السنوي لاندخال التكنسيوم بالبلع:

$$ALI_{(Tc-99m)} = 20 \times 10^{-3} / 2.1 \times 10^{-11}$$
$$= 9.5 \times 10^{8} \quad Bq$$

وبتطبيق المتباينة (11-13) يكون:

$$(E/20) + (3.08 \times 10^{5}/1.54 \times 10^{6}) + (3.8 \times 10^{7}/9.5 \times 10^{8} = 1$$
$$(E/20) + 02 + 0.3 = 1$$

ومنها:

$$E + 4 + 6 = 20$$
$$E = 10$$

أي أنه يجب ألا تتجاوز جرعة التعرض الخارجي 8 ميللي سيفرت طوال هذا العام.

11-7 الرقابة على الأخطار الداخلية

تهدف الرقابة على الأخطار الداخلية إلى عدم تعرض أعضاء الجسم المختلفة لجرعات إشعاعية داخلية أكبر من الحدود المصرحة. ويتم ذلك بقياس تركيز المواد المشعة العالقة في الهواء وكذلك قياس تلوث الأسطح المختلفة بأي من النظائر المشعة. ولهذا الغرض تم استحداث مصطلحات معينة وهي التركيز المشتق للهواء (DAC) والحد المشتق للعمل (WL).

11-7-1 التركيز المشتق للهواء Derived air concentration

يعرف التركيز المشتق للهواء (DAC) بأنه نسبة تركيز المواد المشعة في الهواء التي ينتج عنها حد واحد سنوي للاندخال عن طريق التنفس. ويحدد التركيز المشتق بقسمة الحد السنوي للاستنشاق (بالنسبة للنظير المعين) على حجم الهواء المستنشق في السنة. ولما كان حجم الهواء المستنشق خلال ساعات العمل الثمانية في اليوم هو حوالي 10 $م^3$ وأيام العمل الأسبوعية هي 5 أيام (ولمدة خمسين أسبوعا في العام) فإنه يمكن تحديد التركيز المشتق للهواء (بالبكرل/متر^3) كالآتي:

$$DAC = ALI / (50 \times 10 \times 5) = ALI / 2500 \quad (11\text{-}14)$$

مثال:

احسب التركيز المشتق لثاني أكسيد البلوتونيوم 239 في الهواء، بحيث لا يتجاوز الحد السنوي القيم المصرحة.

الحل:

باستخدام قيمة معامل تحويل الاندخال بالاستنشاق بالنسبة للبلوتونيوم، يحسب مقدار الحد السنوي للاندخال ALI منه كالآتي:

$$ALI_{(Pu\text{-}239)} = 20 \times 10^{-3} / 6.4 \times 10^{-5}$$
$$= 312.5 \text{ Bq}$$
$$DAC = 312.5 / 2500$$
$$= 0.125 \quad Bq/m^3$$

أي أنه يجب ألا يزيد تركيز ثاني أكسيد البلوتونيوم في هواء الغرفة على 0.125 بكرل/مترمكعب، بشرط ألا يتعرض أي إنسان يعمل في هذه الغرفة تعرضا خارجيا.

11-7-2 الحد المشتق للعمل Derived working limit

يتضمن الحد المشتق للعمل الأخطار الناجمة عن التلوث بالمواد المشعة التي يمكن أن تصل إلى داخل الجسم عن طريق التنفس أو البلع أو التشعيع المباشر للجلد من الخارج. وعند تحديد هذا الحد تؤخذ ثلاثة أمور مجتمعة في الحسبان هي:

أ- يجب ألا يتجاوز الكمية التي تدخل الجسم عن طريق التنفس حد التركيز المشتق للهواء.

ب- يجب ألا تتجاوز الكمية المبتلعة عن طريق الأيدي والفم الحد السنوي للاندخال I عن طريق البلع.

ج- عند تعرض الجلد للتشعيع المباشر الخارجي (خاصة جلد الأيدي والأقدام) يجب ألا تتجاوز الجرعة الحد السنوي المصرح. وفي معظم الأحيان يلعب التشعيع المباشر للجلد الدور الرئيس عند التلوث ببواعث بيتا. أما عند التلوث بالمواد المصدرة لجسيمات ألفا فيلعب كل من الاستنشاق أو البلع الدور الرئيس.

ويبين جدول (11-7) الحد المشتق للعمل عند تلوث الأسطح بمواد مصدرة لجسيمات ألفا أو بيتا وإشعاعات جاما.

جدول (10-7)
الحد المشتق للعمل عند تلوث الأسطح بنظائر مشعة

مصادر ألفا	مصادر بيتا أو جاما
5×10^{3} بكرل/متر^2	4×10^{4} بكرل/متر^2

ويلاحظ من هذا الجدول أن الحد المشتق لبواعث جسيمات ألفا أعلى من نظيره لبواعث جسيمات بيتا أو إشعاعات جاما بعشر مرات، وهذا يوضح مدى سمية التلوث بمواد مصدرة لجسيمات ألفا.

11-8 تصنيف أماكن العمل والمختبرات

أوصت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتصنيف أماكن العمل والمختبرات التي توجد فيها مواد مشعة أو أية مصادر للأخطار الداخلية والخارجية إلى أربعة أنواع تبعا لخطورة المادة المشعة ودرجة سميتها الإشعاعية radiotoxicity . وقد أخذت معظم الدول بهذا التصنيف والتزمت به في مراقباتها الإشعاعية.

11-8-1 تصنيف أماكن العمل تبعا لخطورة المادة المشعة

يبين جدول (11-8) تصنيف الأماكن تبعا لخطورة المادة المشعة أو الجهاز المصدر للإشعاعات إلى الأنواع الأربع الآتية:

جدول(11-8)
تصنيف أماكن العمل

النوع	تعريفه	الخطر	أمثلة لهذه الأماكن
الأول	الأماكن التي توجد فيها أخطار إشعاعية خارجية كبيرة ويمكن أن تكون درجة التلوث فيها عالية	مناطق محظورة إلا على العاملين ويجب ارتداء الملابس الواقية ويخضع جميع العاملين فيها للرقابة الإشعاعية ومراقبة التلوث	المختبرات الحارة وما شابهها
الثاني	الأماكن التي يمكن أن توجد فيها أخطار إشعاعية خارجية أو التي يمكن أن يحدث فيها تلوث بمادة	مناطق محظورة إلا على العاملين بها، ويجب ارتداء الملابس الواقية، ويخضع	المختبرات الكيميائية وأماكن وجود

	مشعة مما يستلزم ضرورة توفر تعليمات خاصة بالعمل	العاملون فيها للمراقبة.	الأجهزة والمصادر المشعة.
الثالث	الأماكن التي لا يزيد فيها حد الأخطار الإشعاعية الخارجية على 0.1 رم في الاسبوع وإمكانية التلوث بالمواد المشعة فيها مهملة.	مناطق محظورة إلا على العاملين بها ولا توجد ضرورة لارتداء الملابس الواقية.	الغرف المجاورة لأماكن العمل مثل غرف التحكم والمراقبة.
الرابع	الأماكن والمباني القريبة من مصادر الإشعاعات الخارجية حيث يكون مستوى هذه الإشعاعات مهملا ولا تحتوي أية مواد مشعة .	غير محظورة	المباني المجاورة للمختبرات الحاوية للمواد المشعة

11-8-2 تصنيف أماكن العمل تبعا لدرجة سمية المادة المشعة

وبالإضافة إلى هذا التصنيف العام لأماكن العمل والمختبرات فقد تم تصنيف المختبرات التي توجد بها مواد مشعة مفتوحة ومتداولة إلى أربع مجموعات. كذلك، تم توزيع المواد المشعة من حيث درجة سميتها على هذه المجموعات الأربعة.

المجموعة الأولى: نظائر عالية السمية

High toxicity radionuclides

وهي: رصاص ^{210}Pb، بولونيوم ^{210}Po، رديوم ^{223}Ra، راديوم ^{226}Ra، راديوم ^{228}Ra، أكتينيوم ^{227}Ac، ثوريوم ^{227Th}، ثوريوم ^{228Th}، ثوريوم ^{230Th}، بروتاكتنيوم ^{231}Pa، يورانيوم ^{230}U، يورانيوم ^{232}U، يورانيوم ^{233}U ، يورانيوم ^{234}U، نبتونيوم ^{237}Np، بلوتونيوم ^{238}Pu، بلوتونيوم ^{239}Pu، بلوتونيوم ^{240}Pu، بلوتونيوم ^{241}Pu، بلوتونيوم ^{242}Pu، أميريسيوم ^{241}Am، أميريسيوم

^{243}Am، كوريوم ^{242}Cm، كوريوم ^{243}Cm، كوريوم ^{244}Cm، كوريوم ^{245}Cm، كوريوم Cm^{624}، كاليفورنيوم ^{250}Cf، كليفورنيوم ^{252}Cf .

المجموعة الثانية: نظائر فوق متوسطة السمية

Medium high toxicity

وهي: صوديوم ^{22}Na، كلور ^{36}Cl، كالسيوم ^{45}Ca، سكانديوم ^{46}Sc، منجنيز ^{54}M، كوبلت ^{56}C، كوبالت ^{60}C، سترنشيوم ^{89}S، سترنشيوم ^{90}S، أتريوم ^{91}Y، زركنيوم ^{95}Zr، روثينيوم ^{106}Ru، فضة ^{110m}Ag، كادميوم ^{115m}Cd، أنديوم ^{114m}In، أنتيمون ^{124}Sb، أنتيمون ^{125}Sb، تيلوريوم ^{127m}Te، تيلوريوم ^{129m}Te، يودا ^{124}I، يودا ^{126}I، يودا ^{131}I، يودا ^{133}I، سيزيوم ^{134}Cs، سيزيوم ^{137}Cs، باريوم ^{140}Ba، سيريوم ^{144}Ce، ايربيوم ^{152}Eu، ايربيوم ^{154}Eu، تربيوم ^{160}Tb، ثوليوم ^{170}Tm، هافنيوم ^{181}Hf، تانتالوم ^{182}Ta، إيربديوم ^{192}Ir، ثاليوم ^{104}Tl، بزموت ^{207}Bi، بزموت ^{210}Bi، إستاتين ^{211}At، رصاص ^{212}Pb، راديوم ^{224}Ra، إكتنيوم ^{228}Ac، بروتاكتنيوم ^{230}Pa ثوريوم ^{234Th}، يورانيوم ^{236}U، وبركيليوم ^{249}Bk .

نظائر المجموعة الثالثة: نظائر متوسطة السمية

Medium toxicity

وهي: بريليوم ^{7}Be، كربون ^{14}C، فلور ^{18}F، صوديوم ^{24}Na، كلور ^{38}Cl، سيليكون ^{31}Si، فسفور ^{32}P، كبريت ^{35}S، أرجون ^{41}Ar، بوتاسيوم ^{42}K، بوتاسيوم ^{43}K، كالسيوم ^{47}Ca، سكانديوم ^{47}Sc، سكانديوم ^{48}Sc، فانديوم ^{48}V كروم ^{51}Cr، منجنيز ^{52}Mn، منجنيز ^{56}Mn، حديد ^{52}Fe، حديد ^{55}Fe، كوبلت ^{57}Co، كوبلت ^{58}Co، نيكل ^{63}Ni، نيكل ^{65}Ni، نحاس ^{64}Cu، خارصين ^{65}Zn، خارصين ^{69m}Zn، جاليوم ^{72}Ga، زرنيخ ^{73}As، زرنيخ ^{74}As، زرنيخ ^{76}As، زرنيخ ^{77}As، سيلينيوم ^{75}Se، بروم ^{82}Br، كريتون ^{85m}Kr، كريتون ^{78}Kr، روبيديوم ^{86}Rb، سترونشيوم ^{85}Sr، سترونشيوم ^{91}Sr، اتريوم ^{90}Y، اتريوم ^{92}Y، اتريوم ^{93}Y، زركونيوم ^{97}Zr، نيوبيوم ^{93m}Nb، نيوبيوم ^{95}Nb، موليبدينيوم ^{99}Mo، تكنيسيوم ^{96}Tc، تكنيسيوم ^{97m}T، تكنيسيوم ^{99}Tc، تكنيسيوم ^{97}Tc، روثينيوم ^{103}Ru، روثينيوم ^{105}Ru، روديوم ^{105}Rh، بلاديوم ^{103}Pd، بلاديوم ^{109}Pd، فضة ^{108}Ag، فضة ^{111}Ag، كادميوم ^{109}Cd، كادميوم ^{115}Cd، إنديوم ^{115m}In، قصدير ^{113}Sn، قصدير ^{125}Sn، أنتيمون ^{122}Sb، تيلوريوم ^{125m}Te، تيلوريوم ^{127}Te، تيلوريوم ^{129}Te، تيلوريوم ^{131m}Te، تيلوريوم ^{132}Te،

يودا ^{130}I، يودا ^{132}I، يودا ^{134}I، يودا ^{135}I، كسينون ^{135}Xn، سيزيوم ^{131}Cs، ^{136}Cs، باريوم ^{131}Ba، لانثانيوم ^{140}La، سيريوم ^{141}Ce، سيريوم ^{143}Ce، براسيوديميوم ^{142}Pr، براسيودميوم ^{143}Pr، نيوديميوم ^{147}Nd نيوديميوم ^{149}Nd، بروميثيوم ^{147}Pm، بروميثيوم ^{149}Pm، سماريوم ^{151}Sm، سماريوم ^{153}Sm، إيروبيوم ^{152}Eu، إيروبيوم ^{155}Eu، جادولينيوم ^{153}Gd، جادولينيوم ^{159}Gd، ديسبرسيوم ^{165}Dy، ديسبرسيوم ^{166}Dy، هلميوم ^{166}Ho، اربيوم ^{169}Er، اربيوم ^{171}Er، ثوليوم ^{171}Tm، اتربيوم ^{175}Yb، لوتيسيوم ^{177}Lu، تنغستين ^{181}W، تنغستين ^{185}W، تنغستين ^{187}W، رينيوم ^{183}Re، رينيوم ^{186}Re، رينيوم ^{188}Re، أسميوم ^{185}Os، أسميوم ^{191}Os، أسميوم ^{193}Os، إيريديوم ^{190}Ir، إيريديوم ^{194}Ir، بلاتين ^{191}Pt، بلاتين ^{197}Pt، ذهب ^{196}Au، ذهب ^{198}Au، ذهب ^{199}Au، زئبق ^{197}Hg، زئبق ^{197m}Hg، زئبق ^{203}Hg، ثاليوم ^{200}Tl، ثاليوم ^{201}Tl، ثاليوم ^{202}Tl، رصاص ^{203}Pb، بزموت ^{206}Bi، بزموت ^{212}Bi، رادون ^{220}Rn، رادون ^{222}Rn، ثوريوم ^{231}Th، بروتاكتنيوم ^{233}Pa، زنبتونيوم ^{239}Np .

المجموعة الرابعة: نظائر منخفضة السمية Low toxicity

وهي: تريتيوم ^{3}H، أكسجين ^{15}O، أرجون ^{37}Ar، كوبلت ^{58m}Co، نيكل ^{59}Ni، خارصين ^{69}Zn، جرمانيوم ^{71}Ge، كربتون ^{85}Kr، سترونشيوم ^{85m}Co، روبيديوم ^{87}Rb، اتريوم ^{91m}Y، زركونيوم ^{93}Zr، نيوبيوم ^{97}Nb، تكنيسيوم ^{96m}Tc، تكنيسيوم ^{99m}Tc، روديوم ^{103m}Rh، إنديوم ^{113m}In، يود ^{129}I، زينون ^{131m}Xe، زينون ^{133}Xe، سيزيوم ^{134m}Cs، سيزيوم ^{135}Cs، ساريوم ^{147}Sm، رينيوم ^{187}Re، اسميوم ^{191m}Os، بلاتين ^{193m}Pt، بلاتين ^{197m}Pt، ثوريوم ^{232}Th، ثوريوم طبيعي، يورانيوم ^{235}U، يورانيوم ^{238}U، يورانيوم طبيعي.

11-8-3 تصنيف المختبرات تبعا لكمية النويدات المتداولة

تصنف المختبرات إلى ثلاثة أنواع رئيسة، وذلك تبعا لكمية النظائر المشعة التي يتم تداولها فيها وبالنسبة لمجموعات النظائر الأربعة. ويبين جدول (11-9) هذا التصنيف.

جدول (11-9)

المجوعة التي	نوع المختبر وكميات النظير في كل نوع

ينتمي إليها النظير	الثالث	الثاني	الأول
الأولى	أكثر من 1 ميللي كوري	من 10 ميكروكوري إلى 1ميللي كوري	أقل من 10 ميكرو كوري
الثانية	أكثر من 100 ميللي كوري	من 1 إلى 100 ميللي كوري	أقل من 1 ميللي كوري
الثالثة	أكثر من 10 كوري	من 100 ميللي كوري إلى 10 كوري	أقل من 100 ميللي كوري
الرابعة	أكثر من 1000 كوري	من 10 إلى 1000 كوري	أقل من 10 كوري

ويجب أن تخضع جميع الأماكن والمختبرات المحظورة وكذلك الأماكن المجاورة لها لمراقبة التلوث لاكتشاف أي تلوث بأي من المواد المشعة فور حدوثه.

وعند حدوث التلوث فإنه يجب إزالته على وجه السرعة حتى لا ينتشر هذا التلوث إلى مناطق أوسع مما يعقد عملية إزالته.

11-9 الملابس الواقية

تستخدم الملابس الواقية لمنع حدوث تلوث الجسم بالمواد المشعة. ويعتمد نوع هذه الملابس على طبيعة التلوث المحتمل وكميته. فعند تلوث الأسطح بكميات قليلة من المواد المشعة يكفي ارتداء المعطف العادي والحذاء ذي الرقبة الطويلة والقفازات المطاطية. أما عند تلوث الهواء بأي كمية من الإشعاعات فإنه يحب ارتداء الحلة الكاملة والمغلقة، مع استخدام قناع حول الرأس مزودة بمرشح للهواء أو أنابيب لتوصيل الهواء النقي. وعند حدوث التلوث بالسوائل المشعة يجب ارتداء الحلة الكاملة المغلقة وقناع الرأس المزود باسطوانة للهواء النقي.

ومهما كان نوع الملابس فيجب أن تتوفر غرفة قريبة لغيار الملابس مفصولة بحاجز مناسب لمنع انتشار التلوث. كما يجب توفير الوسائل التالية بالقرب من هذه الغرفة:

أ- حوض لغسيل الأيدي (ويفضل توفر دش).
ب- أجهزة الكشف عن التلوث (راصد تلوث الأيدي والملابس).
ج- ملابس واقية نظيفة قريبة المنال.
د- مرحاض مناسب على الجانب النظيف للحاجز.
هـ حاويات للملابس المستخدمة الملوثة وللنفايات المشعة.
ح- مكتب مراقبة عند الحاجز لمنع دخول غير المسؤولين ولتنفيذ التعليمات الخاصة باستبدال الملابس وغيرها .
ط- تعليمات الطوارئ الخاصة بكيفية التصرف في حالة حدوث أي حوادث أخرى مثل الحريق أو التلوث الشديد لأحد العاملين .

11-10 مراقبة التلوث

تهدف مراقبة التلوث بالمواد المشعة إلى تحقيق العناصر الأساسية الآتية:

أ- تخفيض كمية المواد المشعة المتداولة إلى أدنى حد ممكن.
ب- احتواء المواد المشعة في أوعية محتواه داخل حاجزين على الأقل.
ج- اتباع التعليمات وتنفذ الخطوات الصحيحة المتعلقة بالملابس الواقية والاغتسال ووسائل رصد التلوث.

ويبين شكل (11-2) كيفية احتواء المواد المشعة في مختبرات الماد المشعة والنووية، حيث يجب احتواء المادة المشعة داخل عدة حواجز. ويبلغ عدد الحواجز في هذا الشكل أربعة هي الزجاجة التي تحتوي السائل أو المادة المشعة، وجدار الوعاء الذي توضع فيه الزجاجة وجدار دولاب التهوية، وأخيرا الحاجز الموجود عند مدخل المختبر الذي يوضع عليه جهاز رصد التلوث.

شكل (11-2)
احتواء المواد المشعة في مختبرات الكيمياء

1- الزجاجة الحاوية للمادة المشعة
2- حوض حاجز
3- جدار دولاب التهوية
4- مخرج الغرفة
5- جهاز رصد التلوث

11-10-1 قواعد عامة لمراقبة التلوث

تعتمد عملية مراقبة التلوث على جميع الأفراد القائمين بالعمل في المكان المراقب أو الخاضع للإشراف بالنسبة للتلوث .لذلك، لا يسمح بدخول هذه الأماكن إلا للأفراد الذين اجتازوا تدريبا أوليا ودوريا على قواعد العمل في تلك الأماكن وعلى كيفية التصرف في حالة حدوث أي من الأخطار.

وأهم القواعد التي يجب اتباعها عند العمل في أي من هذه الأماكن ما يلي:

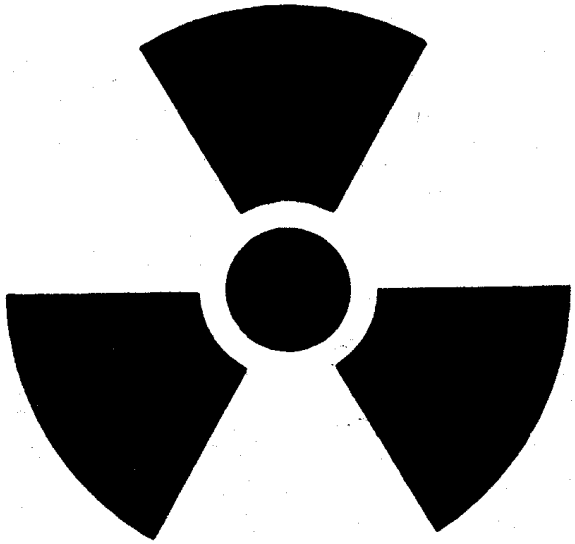
أ- الامتناع عن تناول الطعام والشراب والتدخين داخل هذه الأماكن.
ب- الامتناع عن عمل حركات بالفم كمضغ اللبان أو غيره.
ج- تغطية الجروح (مهما صغرت) بوسيلة تمنع وصول السوائل إليها قبل الدخول إلى المكان حتى لا يصل التلوث إلى الدم.
د- عند حدوث أي جروح لأي من الأشخاص داخل المكان يجب التبليغ عنها لمسؤول الوقاية وإزالة التلوث عنها ومعالجتها في الحال.

هـ- عدم استخدام المناديل العادية داخل المكان واستخدام المناديل الورقية الخاصة بإزالة التلوث بدلا منها .

و- جميع الأشياء التي تخرج من هذه الأماكن تخضع للرقابة ويجب أخذ الموافقة على إخراجها قبل التنفيذ كما يجب إخضاعها لاختبار التلوث. كذلك، يجب وضع الشارات المميزة عليها (شارات التلوث الإشعاعي). كما يجب وضع الشارات على جميع الأدوات المستخدمة في تلك الأماكن وعدم خلطها بالأدوات المستخدمة في الأماكن الأخرى.

11-11 الشارات الدولية المميزة للإشعاعات

تستخدم شارة دولية للدلالة على المخاطر الإشعاعية. وهذه الشارة شكل (11-3) عبارة عن دائرة مركزية يحيط بها ثلاثة قطاعات دائرية مطلية جميعا (مع الدائرة المركزية) باللون الأسود ومرسومة على خلفية صفراء. ويكتب على الشارة مصطلحات مختلفة للدلالة على نوع الخطورة وأهم هذه المصطلحات الجمل والعبارات التالية:



شكل (11-3)
شارة المخاطر الإشعاعية

11-11-1 تحذير: منطقة إشعاعية

Caution: radiation area

وتوضع هذه الشارة في أي منطقة يمكن أن يتعرض فيها جسم الإنسان لمجال إشعاعي خارجي، بحيث يحصل على جرعة فعالة مقدارها 0.1 ميللي سيفرت في الأسبوع.

11-11-2 تحذير: مادة مشعة

Caution: radioactive material

وتوضع هذه الشارة في الغرف أو المختبرات التي توجد أو تخزن فيها مواد مشعة تزيد على الكميات المبينة في جدول (11-10)

11-11-3 تحذير: مواد مشعة Caution radioactive materials

وتوضع هذه الشارة في مكان تسهل رؤيتــه علــى أي حاويــة تستخدم لنقل أو تخزين أو تداول المواد المشعة بكمية لا تتجــاوز 10/1 من الكميات المبينة في جدول (11-10).

11-11-3 منطقة نشاط إشعاعي عالق في الهواء
Airborne radioactivity area

توضع هذه الشارة في المناطق التي يزيد فيها تركيــز المــواد المشعة في الماء أو الهواء على الحدود المبينة في جدول (11-11).

جدول (11-10)

اسم النظير	الحد الذي يستوجب وضع العلامة على الغرفة (ميكرو كوري)
كالسيوم45، بوتاسيوم42، فسفور32	100
سيزيوم137، باريوم137، كلور36	100
صوديوم24، خارصين65، ذهب198	100
كربون 14، نحاس 64	1000
حديد 55، كبريت 35	1000
كروم51 ، ترتيوم 3	10000
كوبلت 60	10
يود125، يود131	10
سترونشيوم 90، اتريوم 90	1
راديوم 226	0.1
أية مصادر ألفا	0.1
أية مصادر بيتا أو جاما (خلاف ما ورد)	1

11-12 شروط واجبة في أماكن العمــل بالإشــعاعات والمــواد المشعة

عند تصميم أماكن العمل بالمواد المشعة يجب توجيــه العنايــة الكاملة لنظام التهوية وللحالة الخارجية للأسطح والجدران والأرضيات.

جدول (11-11)

النظير	التركيز بالبكرل/سم^3			
	مناطق غير محظورة		مناطق محظورة	
	ماء	هواء	ماء	هواء
كبريت 35	2.22	$10x3.33^{-4}$	74	0.011
يود 131	0.011	$10x3.7^{-5}$	2.22	$10x3.3^{-4}$
يود 125	$10x7.4^{-3}$	$10x3.0^{-6}$	1.48	$10x1.85^{-4}$
فسفور 32	0.74	$10x7.4^{-5}$	18.5	$10x2.60^{-3}$
كالسيوم 45	0.33	$10x3.7^{-5}$	11.1	$10x1.1^{-3}$
صوديوم 24	1.11	$10x1.85^{-4}$	29.6	$10x3.7^{-3}$
بوتاسيوم 42	0.74	$10x1.48^{-4}$	22.2	$10x3.7^{-3}$
كروم 51	7.4	$10x2.96^{-3}$	1850	$10x7.4^{-2}$
بروم 82	1.48	$10x2.22^{-4}$	37	$10x7.4^{-3}$
كلور 36	2.22	$10x2.96^{-5}$	74	$10x7.4^{-3}$
كربتون 85	–	$10x1.1^{-2}$	–	0.37
زينون 133	–	$10x1.1^{-2}$	–	0.37
كربون 14	3.96	$10x3.7^{-2}$	740	0.150
ترتيوم 36	111	10 x7.4	3700	0.185

11-12-1 نظام التهوية

تهدف التهوية في المختبرات النووية والإشعاعية إلى التبديل المستمر للهواء حتى لا تتجاوز نسبة تركيز المواد المشعة فيه حدا معينا. وعموما، لا يختلف نظام التهوية في المختبرات النووية عن نظام التهوية في المختبرات الكيميائية إلا في عدة جوانب بسيطة أهمها ما يلي:

أ- ضرورة وضع مرشحات لحجز المواد المشعة الصلبة العالقة في الهواء وعدم تسربها للخارج.

ب- في حالة وجود مواد مشعة في حالة غازية يجب توجيه عناية خاصة إلى المرشحات وإلى مخارج التهوية بحيث يتم التأكد من

ترشيح هذه الغازات أو تشتتها تشتتا تاما وعدم تركزها في أماكن قريبة.

ج- تكون مخارج التهوية بعيدة عن جميع النوافذ والمداخل لضمان عدم دخول الهواء إلى تلك المختبرات أو الأماكن المجاورة.يجب

د- مد مخارج التهوية إلى ارتفاعات عالية حتى يتحقق التشتت.

11-12-2 الحالة الفنية للأسطح

يجب أن تتحقق الشروط التالية في جميع الأسطح والجدران في الأماكن التي توجد بها مصادر أو مواد مشعة مفتوحة:

أ- تكون جميع الأسطح مثل الطاولات والجدران والأرضيات على درجة عالية من النعومة وخالية من أية خدوش أو كسور أو تشققات، وتكون من النوع الذي يسهل تنظيفها وإزالة التلوث منها.

ب- طلاء جميع الجدران بطلاء خامل كيميائيا وغير قابل لامتصاص الماء أو السوائل الأخرى.

ج- تغطية الأرضية بمواد مقاومة للحرارة وللتفاعلات الكيميائية ولصقها جيدا بحيث لا تتسرب أية كميات من المواد المشعة تحتها.

د- تغطية الطاولات بأسطح فورمايكا أو أي مواد ناعمة مقاومة للحرارة وللتفاعلات الكيميائية، وتلصق هذه الأسطح بلاصق جيد يحقق المقاومة الحرارية والكيميائية اللازمين.

هـ وضع مفاتيح التوصيل الكهربائي في أماكن بعيدة حتى لا تتعرض للتلوث بالمواد المشعة.

و- توجيه عناية خاصة إلى وضع المكيفات حيث أنها تشكل أسطحا يمكن أن يترسب عليها الغبار الملوث.

ز- عدم وضع أية أسطح غير ضرورية كالأرفف والخزانات ذات الأدراج داخل المكان.

ح- تخصيص غرفة مجاورة لاستخدامها كغرفة غيار الملابس (change room) على أن تزود بالماء الساخن والبارد وبأجهزة رصد التلوث والملابس الواقية.

وتجدر الإشارة إلى ضرورة توفر هذه المتطلبات في جميع المختبرات والأماكن من النوع الثالث والرابع وأما بالنسبة للنوع الأول والثاني فإنه من المفضل أن تتوفر لها تلك الإمكانات.

11-13 رصد التلوث

11-13-1 حساسية جهاز رصد التلوث ومعايرته

ذكر أن أية كمية قليلة من المواد المشعة قد لا تشكل خطورة إشعاعية خارجية ملموسة، ولكنها في الوقت نفسه يمكن أن تؤدي إلى خطورة داخلية كبيرة للغاية. وهذا يعني أن المستوى الإشعاعي الناتج عن هذه الكمية الصغيرة سوف يكون ضعيفا .لذلك، فإنه يجب أن تتوفر لأجهزة رصد التلوث حساسية عالية للغاية بالمقارنة بأجهزة المسح الإشعاعي حتى يمكن الكشف عن التلوث بكميات متناهية الصغر.

وتستخدم لهذا الغرض أجهزة رصد تلوث مزودة بكواشف عالية الحساسية مثل عداد غايغر أو العداد الوميضي. وتحدد هذه الأجهزة معدل العد (في الثانية أو الدقيقة) ويجب الاحتفاظ بمثل هذه الأجهزة بحيث تكون جاهزة دائما للاستخدام وتكون معايرة بدقة عالية.

11-13-2 الكشف المباشر عن تلوث الأسطح

يتم الكشف عن تلوث أسطح الطاولات والأرضيات والملابس والجلد البشري والأيدي والأقدام، مباشرة باستخدام أجهزة رصد التلوث. وتعطي معظم الأجهزة قراءاتها مباشرة بالميغا بكرل/متر^2. ويزود كل جهاز بمجسين أحدهما لرصد التلوث بمصادر ألفا والآخر لرصد التلوث بمصادر بيتا. وتجدر الإشارة إلى أن مجسات جسيمات بيتا تسجل نسبة ضئيلة من إشعاعات جاما، مما يجعل رصد التلوث بمصادر بيتا صعبا للغاية في حالة توفر خلفية إشعاعية لإشعاعات جاما في المكان. لذلك، فإنه للكشف عن التلوث بمواد مشعة لجسيمات بيتا يجب استخدام طريقة غير مباشرة للكشف عن التلوث.

11-13-3 الكشف غير المباشر عن تلوث الأسطح

يستخدم هذا الأسلوب لرصد التلوث بمواد مشعة لجسيمات بيتا في وجود خلفية لإشعاعات جاما. كذلك، يستخدم هذا الأسلوب للكشف عن المستويات الضعيفة للتلوث. ويتم رصد التلوث بهذا الأسلوب كالآتي:

تمسح مساحة من السطح الملوث (حوالي 0.1 م^2) بورقة ترشيح نظيفة، وتوضع الورقة داخل كيس من البولي إيثيلين حتى لا ينتشر التلوث، ثم تؤخذ الورقة إلى غرفة ذات مستوى إشعاعي منخفض ويتم عدها على الجهاز المخصص في هذه الغرفة. يتم تحديد مستوى التلوث (Contamination level C.L) بالميغا بكرل/م^2 ،طبقا للعلاقة:

$$C.L = C\,(100/\eta)\,x\,(1/A)\,x\,(100/E)$$

حيث C معدل العد في الثانية، $\eta\gamma$ هي كفاءة الكاشف المستخدم للعد، A مساحة السطح الذي تم مسحه بورقة الترشيح بالمتر المربع، E نسبة الجزء الذي تم التقاطه إلى التلوث الكلي. وعموما، يصعب تحديد قيمة E ، حيث أنها تعتمد على عدة عوامل: أهمها الخصائص الطبيعية والكيميائية للمادة وطبيعة السطح الملوث. لذلك، يوصى باعتبار مقدار E مساو 10 %.

وبسبب عدم الدقة في تحديد قيمة E تستخدم طريقة أخرى للقياس غير المباشر للتلوث وذلك بمسح مساحة كبيرة من السطح باستخدام ورق يعرف باسم (damp paper towel) ثم تؤخذ هذه الورقة ويتم عدها. وتتميز هذه الطريقة بأنها تقوم بإزالة التلوث من السطح فضلا عن تحديد مستوى التلوث عليه.

11-13-4 رصد تلوث الهواء

يجب رصد تلوث الهواء في جميع الأماكن التي يمكن أن يحدث فيها هذا التلوث. ويحدث تلوث الهواء عادة بإحدى الطرق الأساسية التالية:

أ- نتيجة للتلوث السطحي للأسطح.

ب- نتيجة لتجفيف التلوث الناتج عن السوائل.
ج- نتيجة للعمليات التي تتم على الناشف وينتج عنه غبار ملوث مثل عمليات القطع.

ويتم قياس تلوث الهواء وذلك بسحب كمية معلومة الحجم من ذلك الهواء خلال ورقة ترشيح، ثم يقاس معدل العد لورقة الترشيح على عداد موضوع في مكان ذي خلفية إشعاعية ضعيفة. عندئذ يتم تحديد مستوى تلوث الهواء $(C.L)_a$ بالبكرل/م^3 باستخدام العلاقة التالية:

$$(C.L)_a = C \times (100 / \eta) \times (1/V)$$

حيث C هو معدل العد في الثانية، ηη هي كفاءة الكاشف المستخدم، V هو حجم الهواء الذي تم سحبه أثناء الترشيح.

14-11 علاج الأشخاص الملوثين

بمجرد دخول المواد المشعة إلى الجسم البشري وسريانها فيه يصبح من العسير التخلص منها أو حتى تخفيض كميتها داخل الجسم وذلك بسبب كبر العمر النصفي البيولوجي لمعظمها. لذلك، فإنه يجب بذل جميع الجهود لمنع حدوث التلوث ودخول هذه المواد للجسم. وعليه يجب أن يلتزم جميع العاملين في مثل هذه الأماكن بالقواعد المحلية الخاصة بتداول المواد المشعة، كما يجب عليهم ارتداء الملابس الواقية وحمل أجهزة الكشف المناسبة لرصد التلوث بمجرد وقوعه.

ومع ذلك، فإنه يحتمل حدوث بعض الحوادث الإشعاعية مما يعرض بعض العاملين للتلوث. لذلك فإنه يجب معرفة قواعد معالجة الأشخاص الملوثين بالمواد المشعة. وتتمثل هذه القواعد (بالترتيب) في الآتي:

أ- تحديد مدى الإصابة للشخص ومدى التلوث له.
ب- إذا كانت الإصابة خطيرة فيجب عمل الإسعافات الأولية بأقصى سرعة ممكنة.

ج- بعد تقديم الإسعافات الأولية الضرورية توجه العناية لإزالة التلوث قبل دخوله للجسم وامتصاصه فيه.

د- قبل الشروع في إزالة التلوث يجب إجراء مسح إشعاعي للشخص لتحديد أماكن التلوث باستخدام جهاز لرصد التلوث.

هـ عند اكتشاف تلوث لجزء معين من الجسم يجب إزالته عن هذا الجزء. فعلى سبيل المثال إذا حدث التلوث للأيدي أو الوجه فإنه يجب غسلهما جيدا بالماء الدافئ والصابون، بحيث لا يصل الماء والصابون إلى باقي أجزاء الجسم فيلوثها. وبعد إجراء عملية الغسيل يعاد قياس التلوث للكشف عن أية بقايا، وعند ظهور أية بقايا يجب تكرار العملية إلى أن يتم إزالة التلوث تماما.

و- عند حدوث تلوث كلي للجسم يجب خلع الملابس الواقية وغسل شعر الشخص بالماء الدافئ والصابون (أو أي محلول تنظيف قوي آخر) وذلك تحت صنبور ماء، بحيث لا يصل الماء المتساقط إلى الوجه، وخاصة الفم والأنف. بعد ذلك يتم إزالة التلوث عن باقي الجسم تحت الدش. يعاد بعد ذلك إجراء المسح الإشعاعي للكشف عن أي بقايا للتلوث، ثم يعاد الاستحمام تحت الدش بالماء والصابون حتى تتم إزالة التلوث تماما. وعند وجود أي جروح سطحية في المنطقة الملوثة فإنه يجب خلع الغطاء الواقي عنها وغسلها بقوة، حتى لا تلتصق بها المواد المشعة. وفي حالة وجود جروح خطيرة أو عدم تمكن الشخص من إزالة التلوث يجب سرعة تقديم المساعدات الطبية اللازمة له.

ز- عند ابتلاع الشخص للمواد المشعة يجب إجراء الغسيل المعدي في الحال ويسمح بإعطائه بعد ذلك بعض المواد التي تقلل أو تمنع عملية امتصاص المواد المشعة في القناة الهضمية.

ح- في حالة حدوث تلوث جرح بالمواد المشعة عالية السمية مثل البلوتونيوم 239 ، أو عند دخول هذه المواد في حالة مذابة إلى الرئة يمكن السماح باستخدام المواد الكيميائية (DPTA) وذلك بغرض طرد المواد المشعة. ويجب أن يوضع في الاعتبار أن هذه الكيماويات تعتبر سامة في حد ذاتها.

15-11 تخزين المواد المشعة

تخزن جميع المواد المشعة التي تتطلب وضع علامة (مواد مشعة) في غرف (أو مخازن) مجهزة ضد الحريق والانفجار والغرق.

ويجب اختيار هذه الغرف في الأدوار الأرضية وتزويدها عند المخارج بوسائل رصد التلوث الإشعاعي. وعموما، يجب أن تخضع هذه الغرف للرقابة الإشعاعية من قبل مسؤول الوقاية. كذلك، يجب توفير الوثائق والسجلات الخاصة بكل مادة أو مصدر مشع موجود في الغرفة يوضح جميع البيانات الخاصة به، كنوعه ونشاطه الإشعاعي، وتواريخ تداوله واسم المتداولفي كل مرة. وتخزن المواد المشعة في هذه الغرف في حاويات ودروع مناسبة. ويجب ألا تتجاوز الجرعة الإشعاعية الناتجة عن المواد المشعة المخزنة داخل الدرع 0.5 ميللي رم/ساعة وذلك على مسافة 1 متر من السطح الخارجي للدرع، وإلا اعتبرت الغرفة منطقة عالية الإشعاع ويجب تجهيزها عندئذ بوسائل التحذير المرئية أو السمعية المناسبة. كما يجب وضع العلامة المميزة على المصادر والدروع، ووضع الشارات الإشعاعية في الغرفة وعند مدخلها. وعند نقل أي من المصادر المشعة سواء من الغرفة أو إليها يجب الحصول على موافقة مسؤول (أو مكتب) الوقاية الإشعاعية.

16-11 أسئلة ومسائل للمراجعة

1- عرف كلا من المصدر المغلق والمفتوح.

2- ما هي أهم مصادر الأخطار الداخلية؟.

3- لماذا تعتبر مصادر الجسيمات المشحونة من أكثر المصادر خطورة بالنسبة للأخطار الداخلية؟

4- اشرح طرق دخول المواد المشعة للجسم.

5- عرف كلا من ثابت الإخراج البيولوجي، وثابت التفكك الفعال، وعمر النصف الفعال.

6- اشرح كيف يتغير معدل الجرعة الداخلية مع الزمن؟.

7- عرف الحد السنوي لاندخال المواد المشعة، وما هي توصيات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية الخاصة بهذا الحد؟.

8- اشرح معنى العلاقة التي تربط بين الحد السنوي لاندخال المواد المشعة والتعرض الخارجي.

9- عرف الحد المشتق للعمل، وما هي أهم المعايير التي تحدده؟.

10- ما هي أنواع المختبرات وأماكن العمل من حيث الرقابة الإشعاعية؟.

11- ما هي مكونات الملابس الواقية من الإشعاعات؟.

12- اذكر القواعد التي يجب اتباعها عند العمل في مكان يخضع للرقابة على التلوث.

13- عدد أنواع الشارات الدالة على وجود إشعاعات أو مواد مشعة وما معنى كل من هذه الشارات؟.

14- اذكر الشروط التي يجب أن يحققها نظام التهوية في أماكن العمل بالمواد المشعة.

15- ما هي الشروط الواجب تحققها في أماكن العمل بالمواد المشعة؟.

16- اذكر بالترتيب أهم القواعد الخاصة بإسعاف الأشخاص الملوثين.

17- اذكر طريقتين للكشف عن تلوث الأسطح، واشرحهما باختصار.

18- كيف يحدث تلوث الهواء؟، وكيف يمكنك قياس هذا التلوث؟.

19- اذكر القواعد الخاصة بتخزين المواد المشعة.

20- احسب الجرعة الفعالة الابتدائية الناتجة عن ابتلاع 10 ميللي كوري من نظير سترنشيوم 90 ، إذا علمت أن متوسط طاقة جسيمات بيتا الصادرة من هذا النظير هو 0.21 م.إ.ف، ثم احسب الجرعة الفعالة الملازمة الناتجة عن ذلك.

21- احسب معدل الجرعة الفعالة الابتدائية الناتجة عن ابتلاع 15 ميللي كوري من الفسفور32 المشع، ثم احسب الجرعة المتراكمة في الجسم على مدى 64 يوما، إذا علمت أن العمر النصفي للفسفور 14.3 يوم، والعمر النصفي البيولوجي له هو 48 يوما، وأن متوسط طاقة جسيمات بيتا الصادرة عن الفسفور هو 0.7 م.إ.ف.

22- احسب معدل الجرعة الفعالة الابتدائية الناتجة عن حقن مريض بجرعة مقدارها 70 ميللي كوري من اليود 131، إذا علمت أن متوسط طاقة جسيمات بيتا الصادرة عنه هي م.إ.ف، ثم احسب الجرعة المتراكمة خلال 24 يوما إذا علمت أن العمر النصفي لليود هو 8 أيام والعمر النصفي البيولوجي له هو 70 يوما.

23- احسب الجرعة الفعالة الناتجة عن حقن مريض وزنه 60 كجم على مدى 9 أيام بالصوديوم 24 المشع، إذا كان النشاط الإشعاعي للجرعة 200 ميكروكوري، والعمر النصفي للصوديوم هو 15 ساعة ويصدر إشعاعات جاما بطاقتين هما 1.37 ، 2.75 م.إ.ف.

24- تعرض أحد فنيي المختبرات النووية لمجال إشـــعاعي خـــارجي بلغت جرعته المكافئة 8 ميللي سيفرت، فإذا كان هذا الشـــخص يتعرض لدخول كمية اليود عن طريق الاستنشاق، أوجد مقـــدار النشاط الإشعاعي بالبكرل الذي يجب ألا يتجاوزه هذا الفني.