# المدخل
# إلى
# الحماية الإشعاعية


**تأليف**

آلن مارتن

وصاموئيل هاريبسون

**نقله إلى العربية**

أ.د. محمد بن إبراهيم الجار الله

ود. عادل الشويخ

ود. أحمد فتحي سالم



العبيكان
Obeikan



obeikandl.com

ⓒ محمد إبراهيم الجارالله، 1432هـ

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

مارتن، آلن

المدخل إلى الحماية الإشعاعية./ محمد إبراهيم الجارالله. الرياض، 1432هـ

424 ص؛ 16.5 × 24 سم

ردمك: 978.603 00.8323.7

1 - الإشعاع 2 - الإشعاع النووي - إجراءات الأمن والسلامة

أ. هارييسون، صامويل (مؤلف مشارك) ب. الجارالله، محمد إبراهيم (مترجم) ج. العنوان

ديوي 539.2 رقم الإيداع: 1432/8773

صدر هذا الكتاب بدعم من جامعة الملك فهد للبترول والمعادن تحت مشروع ترجمة كتاب رقم AR 090008 وضمن اتفاقية نشر خاصة بين شركة العبيكان للأبحاث والتطوير وعمادة البحث العلمي في الجامعة

**الطبعة الأولى**

1433هـ/ 2012م

**حقوق الطباعة محفوظة للناشر**

الناشر: العبيكان Obeikan للنشر

الرياض - المحمدية - طريق الأمير تركي بن عبدالعزيز الأول

هاتف 4808654 فاكس 4808095 ص. ب 67622 الرمز 11517

موقعنا على الإنترنت

**www.obeikanpublishing.com**

متجر العبيكان على أبل

**http://itunes.apple.com/sa/app/obeikan-store**

التوزيع: مكتبة العبيكان Obeikan

الرياض - العليا - تقاطع طريق الملك فهد مع العروبة

هاتف 4160018 /4654424 فاكس 4650129

ص. ب 62807 الرمز 11595

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواء أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

obeikandl.com

obeikandl.com

# المحتويات

obeikandl.com

obeikandl.com

| المحتويات | الصفحة |
|---|---|
| مقدمة المترجمين | 19 |
| مقدمة المؤلفين | 21 |
| **الفصل الأول: تركيب المادة** | 25 |
| 1-1 مقدمة | 25 |
| 1-2 الذرة | 25 |
| 1-3 تركيب الذرة | 26 |
| 1-4 العناصر والعدد الذري | 28 |
| 1-5 النظائر والعدد الكتلي | 29 |
| 1-6 النظريات القديمة والحديثة | 32 |
| **الفصل الثاني: الإشعاعية والإشعاع** | 37 |
| 2-1 مقدمة | 37 |
| 2-2 إشعاعات ألفا وبيتا وجاما | 37 |
| 2-3 الإلكترون فولت | 40 |
| 2 – 4 ميكانيكية الاضمحلال الإشعاعي | 41 |
| 2- 5 سلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي | 44 |
| 2- 6 الاشعاعية المحتثة | 45 |
| 2- 7 وحدة الإشعاعية | 45 |
| 2- 8 جدول النويدات | 48 |
| 2- 9 تفاعل الإشعاع مع المادة | 50 |
| 2- 9- 1 الجسيمات المشحونة | 50 |
| 2- 9- 2 إشعاعات جاما والأشعة السينية | 50 |
| 2- 9- 3 النيوترونات | 51 |
| 2-10 القدرات الاختراقية للإشعاعات النووية | 52 |




obeikandl.com

**الفصل الثالث: وحدات الإشعاع** 59

**3–1** امتصاص الطاقة 59

**3 – 2** التأين 59

**3 – 3** جرعة الامتصاص 61

**3 – 4** الجرعة المكافئة 62

**3 – 5** الجرعة المؤثرة 64

**3 – 6** الأجزاء العشرية 64

**3 – 7** معدل الجرعة 65

**3–8** الفيض 66

**3–9** العلاقة بين الوحدات 68

**الفصل الرابع: التأثيرات الأحيائية للإشعاع** 73

**4 –1** المقدمة 73

**4–2** أساسيات علم وظائف أعضاء جسم الإنسان 73

**4 – 2 – 1** الجهاز الدموي 74

**4 – 2 – 2** الجهاز التنفسي 75

**4 – 2 – 3** الجهاز الهضمي 76

**4–3** أحيائية الخلية 76

**4–4** تفاعل الإشعاع مع الخلايا 78

**4 – 5** التأثيرات الحتمية للإشعاع 81

**4 – 5 – 1** تأثيرات الإشعاع الشديدة 81

**4 – 5 – 2** التأثيرات الحتمية المتأخرة 83

**4–6** التأثيرات الاحتمالية – إحداث السرطان 83

4 – 7 التأثيرات الاحتمالية الوراثية 86
4-8 الضرر 87

**الفصل الخامس: الإشعاع الطبيعي والمصنع** 93
5-1 مقدمة 93
5-2 الإشعاع الكوني 94
5-3 إشعاع المصادر الأرضية 94
5-4 المواد المشعة الموجودة طبيعيًّا 95
5- 5 الإشعاعية في الجسم 96
5- 6 تلخيص الجرعات الناتجة عن الإشعاع الطبيعي 97
5-7 المصادر المصنعة للإشعاع 98
5- 8 المصادر الحالية للإشعاع المصنع 100
5-8-1 الطب الإشعاعي التشخيصي 100
5-8-2 الطب الإشعاعي العلاجي 101
5-8-3 استعمال النظائر المشعة 101
5-8-4 المخلفات الإشعاعية 101
5-8-5 السقط الذري الجوي 102
5-8-6 التعرض المهني 102
5- 9 خلاصة مصادر الإشعاع الحالية 103

**الفصل السادس: نظام الحماية الإشعاعية** 107
6- 1 دور الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية 107
6-2 توصيات الهيئة ICRP لعام 1991 (النشرة 60) 110

6- 3 حدود الجرعة الموصى بها للعاملين 113
6- 4 ملاحظات على حدود الجرعة للعاملين 117
6- 5 حدود الجرعة الموصى بها لأفراد المجتمع 118
6-6 التعرضات الشاذة عند الطوارئ والحوادث 118

**الفصل السابع: كشف الإشعاع وقياساته** 127
7- 1 قواعد عامة 127
7-2 تأين الغاز 128
7-2-1 غرفة التأين 128
7-2-2 العداد التناسبي 129
7-2-3 عداد جايجر-مويلر 130
7- 3 كاشفات الحالة الصلبة 130
7- 3- 1 طبيعة العمل (المكننة) 130
7-3-2 كاشفات التوصيل 132
7-3-3 كاشفات الوميض 133
7-3-4 الكاشفات الحراضوئية 133
7-4 الأثر الفوتوغرافي 134
7-5 أثر التنشيط الإشعاعي 135
7-6 الدوائر الكهربائية 136
7-6-1 أنواع الدوائر 136
7-6-2 مكبر التيار المستمر 137
7-6-3 أجهزة عد النبض 138
7-6-4 محلل ارتفاع النبضات 141
7-6-5 مقياس المعدل (المِعْدال) 142

| | |
|---|---|
| **الفصل الثامن : أخطار الإشعاع الخارجي** | 147 |
| **8 – 1** مصدر الخطر | 147 |
| **8 – 2** الزمن | 147 |
| **8– 3** المسافة | 149 |
| **8–3–1** تعبير جبري لحساب معدل الجرعة من مصدر جاما | 150 |
| **8– 4** الحواجز الواقية | 151 |
| **8–4–1** سمك نصف القيمة | 153 |
| **8–5** مصادر النيوترونات | 158 |
| **8– 6** التحكم في جرعات الأفراد | 159 |
| **8–7** مراقبة المسح الإشعاعي | 160 |
| **8–7–1** إجراء المراقبة بالمسح الإشعاعي | 160 |
| **8–7–2** مراقب الأشعة السينية وأشعة جاما | 161 |
| **8–7–3** مرقاب النيوترونات | 163 |
| **8–8** معدات المراقبة الشخصية | 165 |
| **8–8–1** الجرعات الشخصية | 165 |
| **8–8–2** شارة الفيلم | 165 |
| **8–8–3** مقاييس الجرعات الحراضوئية | 166 |
| **8–8–4** مقياس الجرعات الإلكتروني | 168 |
| **8–8–5** مقياس جرعات النيوترونات السريعة | 169 |
| **8–8–6** مدلاة الخطر | 169 |
| **8–8–7** كاشفات ألياف الكوارتز الكهربائي | 170 |
| **8–9** سجلات الإشعاع | 170 |




obeikandl.com

| | |
|---|---|
| **الفصل التاسع: أخطار الإشعاع الداخلي** | 179 |
| **9- 1** المواد المشعة المكشوفة | 179 |
| **9-2** منافذ تلوث الجسم | 179 |
| **9-3** الجرعة في وحدة الأخذ | 184 |
| **9-4** التحكم في أخطار التلوث | 187 |
| **9-4-1** قواعد عامة | 187 |
| **9-4-2** تصنيف المناطق | 188 |
| **9-4-3** الملابس الواقية | 189 |
| **9-4-4** القواعد المخبرية وتدريب الموظفين | 190 |
| **9-4-5** الرمز العالمي للإشعاع | 192 |
| **9-5** السمية الإشعاعية وتصنيف المختبرات | 193 |
| **9-6** تصميم مناطق العمل الإشعاعي | 194 |
| **9-6-1** الجدران والأرضيات والسقوف | 195 |
| **9-6-2** سطوح العمل | 196 |
| **9-6-3** صناديق القفازات | 196 |
| **9-6-4** خزانات الأبخرة | 198 |
| **9-7** معاملة الأشخاص الملوّثين | 199 |
| **9-8** مراقبة التلوث | 200 |
| **9-8-1** الحسية | 200 |
| **9-8-2** مراقبة تلوث السطح المباشر | 201 |
| **9-8-3** فحوص المسح | 202 |
| **9-8-4** مراقبة الهواء | 203 |
| **9-8-5** المراقبة الإحيائية | 204 |


obeikandl.com

| | |
|---|---|
| **الفصل العاشر: الفيزياء الصحية في المفاعل النووي** | 209 |
| **10- 1** مقدمة | 209 |
| **10-2** الانشطار | 210 |
| **10-2-1** عملية الانشطار | 210 |
| **10- 2- 2** التفاعلات المتسلسلة والكتل الحرجة | 211 |
| **10- 2- 3** نواتج الانشطار | 212 |
| **10- 2- 4** عناصر ما فوق اليورانيوم | 214 |
| **10- 2- 5** نواتج التنشيط الإشعاعي | 215 |
| **10- 3** نظام المفاعل | 216 |
| **10- 3- 1** السمات العامة | 216 |
| **10- 3- 2** قلب المفاعل النووي ونظام التحكم | 218 |
| **10- 3- 3** نظام التبريد | 220 |
| **10-3-4** الحاجز (الخاص بحماية الأحياء) | 220 |
| **10-4** تزويد المفاعلات بالوقود | 221 |
| **10- 5** الأخطار الإشعاعية للمفاعلات | 222 |
| **10-5-1** عموميات | 222 |
| **10-5-2** مصادر الإشعاع | 223 |
| **10- 5- 3** مصادر التلوث الإشعاعي | 226 |
| **10- 5- 4** المفاعل الموقف | 228 |
| **10-6** مفاعلات الأبحاث | 230 |
| **10- 7** أحواض الوقود | 231 |
| **10-7- 1** مقدمة | 231 |
| **10-7-2** حصول الكتلة الحرجة | 231 |

10- 7- 3 فقدان الحاجز 232
10-7- 4 شؤون التشغيل 232
10- 7- 5 أجهزة الحوض 233
10- 8 معاملة الوقود 234
10-9 إزالة التجهيزات النووية الزائدة 235

**الفصل الحادي عشر: النفايات الإشعاعية** 243
11-1 مقدمة 243
11-2 عواقب إطلاق المواد المشعة 244
11- 3 المخلفات المشعة السائلة 248
11-4 المخلفات الغازية المشعة 250
11-5 المخلفات الصلبة المشعة 252
11-6 الأنظمة 255

**الفصل الثاني عشر: الأشعة السينية والتصوير الإشعاعي** 261
12-1 مقدمة 261
12-2 أجهزة الأشعة السينية 262
12-2-1 عموميات 262
12-2-2 أنابيب الأشعة السينية ذوات المهبط الحار 263
12-2-3 الإمداد الكهربائي والتحكم 264
12-3 نوعية الأشعة السينية وكثافتها 266
12-4 الوقاية من الأشعة السينية 268
12-4-1 قواعد عامة 268



obeikandl.com

12-4-2 الوقاية في التصوير الإشعاعي الصناعي 269
12-4-3 الوقاية في تطبيقات البحث 271
12-5 مراقبة منشآت الأشعة السينية 272

**الفصل الثالث عشر: الحماية الإشعاعية في الطب** 279
13-1 التطبيقات 279
13-2 القواعد العامة والتنظيم 280
13-3 الإجراءات التشخيصية 284
13-3-1 التشخيص بالتصوير الإشعاعي 284
13-3-2 التشخيص اللصافي 286
13-3-3 التصوير المقطعي 288
13-4 العلاج الإشعاعي 289
13-5 الطب النووي 292
13-5-1 فحوص التشخيص بالنظائر المشعة 292
13-5-2 العلاج بالمصادر المشعة 295
13-6 التحكم والتخلص من المواد المشعة 296

**الفصل الرابع عشر: التشريع والأنظمة المتعلقة بالحماية الإشعاعية** 305
14-1 مقدمة 305
14-2 توصيات الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية **ICRP** 305
14-3 التوجيهات الذرية الأوروبية 306
14-4 تحويل توجيه الاتحاد الأوروبي إلى قانون للمملكة المتحدة 306
14-5 الإطار المنظم تحت مرسوم الصحة والسلامة في العمل 307

obeikandl.com

14-5-1 الأنظمة 307
14-5-2 مرسوم العمل المصرح به وتوجيهات أخرى 310
14-5-3 التقويم المسبق للأخطار 311
14-6 تشريعات ذات علاقة بالمملكة المتحدة 314
14-7 مختصر للأدلة والأنظمة الدولية في دول أخرى 315
14-7-1 فرنسا 316
14-7-2 ألمانيا 317
14-7-3 اليابان 317
14-7-4 الولايات المتحدة الأمريكية 318

**الفصل الخامس عشر: تقنية معامل الفيزياء الصحية** 323
15-1 التقنيات الأساسية 323
15-2 الاختبار الإشعاعي 323
15-2-1 تحديد هوية العينات المجهولة 323
15-2-2 تعيين الطاقة 323
15-2-3 تعيين عمر النصف 327
15-2-4 تعيين النشاط الإشعاعي للعينة 329
15-2-5 تصحيحات زمن التبيّن 332
15-2-6 الإحصاء العدي 333
15-3 معايرة مراقب الإشعاع 337
15-3-1 عموميات 337
15-3-2 المعايرة المباشرة 338
15-3-3 المعايرة البينية باستخدام جهاز مخصوص للمعايرة 338

**الفصل السادس عشر: الطوارئ الإشعاعية** 345

16-1 مقدمة 345

16-2 فقدان الحواجز الواقية 346

16-2-1 في حالة مصدر صغير مغلق 346

16-2-2 مصادر كبيرة مغلقة 347

16-2-3 حوادث تداول وقود المفاعل 347

16- 3 فقدان الحاوي 348

16- 3- 1 الإراقة الثانوية للمواد المشعة 348

16-3-2 إراقات رئيسة للمواد المشعة 349

16-3-3 تحررات رئيسة من أجهزة نووية 350

16-4 كتلة حرجة غير متحكم فيها 353

16-4-1 عموميات 353

16-4-2 المفاعلات 354

16-4-3 محطات وقود المفاعل 355

16-5 التخطيط المسبق للطوارئ 357

**الفصل السابع عشر: تنظيم خدمات الفيزياء الصحية وإدارتها** 363

17-1 عمليات إجمالية 363

17-2 الأنظمة والتعليمات القياسية 363

17-3 التصميم والتشغيل 364

17-4 الإشراف والمراجعة 366

17-5 منظمة الفيزياء الصحية 367

17-6 الوثائق والتقارير 369

17-7 التدريب 371

**الملحقات** 375

**ملحق رقم (1):** العلاقة بين الوحدات الإشعاعية 375

**ملحق رقم (2):** أجوبة الأسئلة العددية 376

**ملحق رقم (3):** أهم المصطلحات والمفردات الواردة في الكتاب مرتبة حسب حروف الهجاء العربية 378

**ملحق رقم (4):** أهم المصطلحات والمفردات الواردة في الكتاب مرتبة حسب الحروف اللاتينية 395

**ملحق قم (5):** قائمة بأسماء العناصر ورموزها 412

**ملحق رقم (6):** مراجع ذات علاقة بموضوعات الكتاب 418

**ملحق رقم (7):** كتب للمترجم 422

obeikandl.com

# مقدمة المترجمين

لقد أضحى الإشعاع الذري أحد الأمور المهمة التي لا غنى عنها في حياتنا المعاصرة، بل أصبحت الحاجة إليه تتزايد مع نمو المجتمع وتطوره؛ وذلك لتطبيقاته المهمة في الطب والصناعة والزراعة وفي مجالات أخرى، بحيث أخذت أجهزة الإشعاع تحتل مكانًا بارزًا في معظم المستشفيات، والجامعات، ومراكز البحوث بأنواعها.

وعلى الرغم من الفوائد الجمة للإشعاع، فإن له ما يشكّله من مضار واضحة على الصحة والبيئة، وما قد يؤثّر به على السلالات البشرية، وما دام الاستغناء عن استعمال الإشعاع قد أضحى مستحيلاً، فيتحتم علينا دراسة وبحث طرق وتقنية الحماية من الإشعاع، وزيادة دائرة التثقيف بها؛ للوقاية منه، أو تحديد آثاره ما أمكننا ذلك، من أجل درء مضاره في المجتمعات العربية المعاصرة، حيث يتزايد الاستعمال التطبيقي للإشعاع بشكل حاد. لذلك تأتي ترجمة الكتاب الحالي بوصفها إحدى المحاولات الجادة، من أجل تزويد العاملين في حقل الإشعاع بالمعلومات اللازمة لوقاية أنفسهم أولاً،ومن ثمَّ حماية بقية أفراد المجتمع من التعرض للإشعاع.

إن هذا الكتاب، مع كونه منهجًا دراسيًّا متكاملاً لدارسي الإشعاع من طلبة كليتي العلوم والهندسة، لكنه يصلح منهج دورة مركزة لفني الأشعة والباحثين والعاملين في أقسام الفيزياء والكيمياء وعلوم الأرض وأقسام الهندسة النووية، وفي أقسام كل من الطب النووي، والقائمين بعمليات التشخيص، والعلاج الإشعاعي، سواء كان هؤلاء العاملون في الجامعات، أو المستشفيات، أو في مراكز البحوث، وكذلك لا يستغني عنه بقية المتعاملين مع الإشعاع. ويشكل الكتاب ـ إضافة إلى ذلك ـ أحد المراجع المهمة للأطباء والخبراء وأساتذة الجامعات وللعاملين في المراكز الطبية والزراعية والصناعية والعسكرية المهتمة بتطبيقات الإشعاع.

ومن الجدير بالذكر أنه قد استُخدمت في هذه الطبعة وحدات الإشعاع وحدود الجرع الحديثة الموصى بها من قبل الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية في نشرتها رقم 60 لعام 1991م.

وقد نجح المؤلفان ـ إلى حد كبير ـ في إعداد هذا الكتاب بأسلوب بسيط بعيدًا عن المصطلحات الفنية المعقدة، أو المعادلات الرياضية الصعبة؛ لجعله سهل التناول لأوسع طبقة من

القراء، وتبسيط مهمته في عالم الواقع، للوقاية من آثار الإشعاع الضارة. وفي الوقت نفسه، حاول المترجمون جهدهم القيام بترجمة الكتاب بأمانة مع الاحتفاظ بالمستوى الفني والأسلوب المترابط لنمط التأليف، كي ينعكس للكتاب أثره النافع ـ بعونه تعالى ـ على العاملين في حقل الإشعاع من الناطقين بالعربية.

ومن أجل أن يؤدي الكتاب مهمته على الشكل الأفضل، من خلال ترجمته العربية، التزم المترجمون ـ وفق اجتهاد يرونه صحيحًا في الظروف الراهنة بما يأتي:

الاحتفاظ ـ في بعض الأحيان ـ بالرموز الإفرنجية، كحالتها في الأصل؛ وذلك دفعًا للالتباس على القارئ، ولعدم الاتفاق ـ حتى الآن ـ على تعريب موحد من جهة، وحتى لا نفصل القارئ ـ من جهة أخرى ـ عن ثقافته العلمية الأساسية التي غالبًا ما تكون بالإفرنجية، ووضعنا في نهاية الكتاب ملحقًا بتعريب المصطلحات العلمية.

وأخيرًا، يرجو المترجمون أن يؤدي الكتاب مهمته في خدمة المجتمع العربي من أجل المساهمة في حركة البناء والتنمية، وإن كل نقد أو تعليق سيلاقي كل ترحيب.

ونود أن نتقدم بالشكر لجامعة الملك فهد للبترول والمعادن لدعمها مشروع ترجمة هذا الكتاب، ونشكر أيضا الأستاذ الدكتور زغلول راغب النجار على مراجعته لمسودة الكتاب وإبداء الملاحظات القيمة عليها.

نسأل الله تعالى الإخلاص في القول والعمل، وله الحمد والمنة، وهو حسبنا ونعم الوكيل.

**المترجمون**

**المملكة العربية السعودية**

**1433هـ ـ 2012م**

# مقدمة المؤلفين

المدخل إلى الحماية الإشعاعية: عبارة عن مسح شامل لمخاطر الإشعاع وكيفية السيطرة عليه.

يرمي الكتاب إلى تلبية حاجة جمهور عريض من القراء المهتمين ـ بشكل مباشر أو غير مباشر ـ بالأشعة المؤينة، ومن بين هؤلاء: الأطباء، وأطباء الأسنان، والباحثون، ومصممو الحقول النووية ومشغلوها، ونحن نعتقد أن هذا العمل ملائم ـ على وجه الخصوص ـ لفنيي الفيزياء الصحية ومراقبيها الذين يهتمون بالسيطرة على أخطار الإشعاع ـ يومًا بيوم ـ وللعاملين في كل من محطات الطاقة النووية ومؤسسات البحوث والمستشفيات وكذلك في الصناعة.

والمستوى المقبول ـ عمومًا ـ من التدريب على هذا النوع من العمل، هو ذلك القدر المعد في مقررات "معهد لندن للمدنية وللنقابات" في التدريب على الوقاية الإشعاعية، والمعتبر في مراكز عدة في المملكة المتحدة. وفصول الكتاب التي تهتم بالخطوط العامة للفيزياء الصحية ترمي إلى هذا المستوى. أما الفصول اللاحقة المهتمة بمظاهر خاصة في الموضوع فهي أكثر تفصيلاً، ولهذا فإن كلاً من مراقب الفيزياء الصحية في محطة نووية ما، أو الفني في المستشفى ـ على سبيل المثال ـ يمكنه أخذ قسط أعمق من الفهم للمشكلات التي تعتريه في مجال عمله الخاص.

ومع استخدام وحدات النظام الدولي فقط في أثناء هذا الكتاب فقد وضعنا جدولاً لمعاملات التحويل لمن لا يزال يستخدم الوحدات القديمة.

لقد جرت كل المحاولات لمنع التعامل بالرياضيات التفصيلية، ولكن من الأهمية بمكان ـ في بعض المجالات ـ استخدام بعض الرياضيات البسيطة، التي تتضمن كلاً من المربعات والجذور التربيعية والدالات الأسية واللوغاريتمات[1] والرسوم البيانية على تدريج لوغاريتمي.

---

(1) اللوغاريتم: اسم محرف عن كلمة الخوارزمي، وهو اسم العالم المسلم أبوبكر الخوارزمي، الذي وضعها. وقد استخدمنا الاسم الشائع.

وعندما تستعمل المعالجة الرياضية، فنحن نحاول عرضها بأسلوب لا يحول دون فهم الفصل بشكل عام إن لم تُفهم فهمًا كاملاً.

وقد أُعِدّ كل فصل إعدادًا منفصلاً بذاته ـ وسع الطاقة ـ ليستطيع القارئ أن يجد كل المعلومات حول نقطة ما، دونما بحث في الفصول الأخرى. والفصول الأولى تتعلق بالقواعد الفيزيائية الأساسية وطبيعة الأخطار الناتجة عن تفاعل الأشعة المؤينة مع الأجهزة الحيوية، وكذلك مستويات الإشعاع التي تتقبلها تلك الأجهزة، وتهتم الفصول الآتية بطرق القياس والسيطرة التي تنفذ لإحراز تلك المستويات.

أما النصف الثاني من الكتاب فيحتوي على فصول منفردة تتحدث عن موضوعات أكثر تخصصًا، مثل: الفيزياء الصحية في المفاعلات النووية، والمشكلات المرافقة للأشعة السينية والتصوير الإشعاعي، والفيزياء الصحية في الطب، وكيفية التخلص من المخلّفات الإشعاعية، وعن الطوارئ الإشعاعية. وكذلك تعرضت تلك الفصول إلى الأنظمة والمنظمات الفيزيائية الصحية. وقد أردف كل فصل بخلاصة على شكل ملاحظات تعالج النقاط الأساسية. إضافة إلى ذلك، أُعدَّت مجموعة من أسئلة المراجعة التي تتطلب أجوبة وصفية أو عددية مع غالبية الفصول.

**المؤلفان**

**آ. م**

**ص. هـ.**

**لندن ـ 2006م**

# الفصل الأول
# تركيب المادة

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الأول

# تركيب المادة

## 1ـ1 مقدمة:

يطلق اسم " المادة " على جميع المواد التي يتركب منها هذا الكون، وتوجد بأشكال ثلاثة: الصلب والسائل والغاز. ولقد تبين أن المادة كلها تتكون من عدد من مواد أبسط تدعى **العناصر**.

**العنصر**: عبارة عن مادة لا يمكن تجزئتها بواسطة عمليات كيميائية اعتيادية إلى مواد أبسط. وهناك اثنان وتسعون عنصرًا موجودًا بشكل طبيعي، مثل: الكربون والأكسجين والحديد والرصاص، ويوجد اثنا عشر عنصرًا أو أكثر قد أنتجت صناعيًا في السنوات الستين الأخيرة، وأكثرها شهرةً البلوتونيوم.

وفي الطبيعة عادة، تترابط العناصر كيميائيًّا مع عناصر أخرى لتشكل المركبات.

**والمركب** عبارة عن عدد من العناصر (عنصران أو أكثر) المترابطة كيميائيًّا بنسب محدودة، مثل الماء ($H_2O$) الذي يتركب من ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين واحدة.

## 2ـ1 الذرة:

لنفترض أن كمية من أحد العناصر عُرِّضت إلى تجزئة متكررة، فإن الحالة التي نصل إليها في نهاية المطاف ـ عند استعمال الأجهزة الضوئية المعتادة ـ هي انقطاع رؤية الدقائق. ولو افترضنا ـ على أي حال ـ توافر معدات مناسبة وأدوات مشاهدة، فهل من الممكن تكرار تجزئة العنصر الأصلي بلا حدود؟ أو أن نصل إلى حالة لا يمكن تجزئة المادة بعدها؟

قبل أكثر من ألفي سنة مضت، افترض الفلاسفة الإغريق هذا السؤال، ولم يملكوا عندئذ أدوات مشاهدة تمكّنهم من فحص التجزئة الواقعية لعنصر ما، إلى دقائق متناهية الصغر، وكل ما أمكنهم عمله هو التفكير في المشكلة بأسلوب منطقي.

من هذا المنطلق الفلسفي، قرر بعضهم أنه لا بد من الوصول إلى حد ما آخر الأمر، وأطلقوا على جسيمات المادة المنفردة التي لا يمكن تجزئتها بعد، اسم " **الذرات** ". وقد افترض بعضهم ـ أيضًا ـ أن جميع المادة تتركب من هذه الذرات نفسها، وأن الترتيبات المختلفة للذرات المكونة هي التي تمنح الخصائص المختلفة للمواد، وأن الكثافة تتعين بشدة تكتل هذه الذرات.

في بداية القرن التاسع عشر برزت نظرية ذرية تستند إلى قاعدة علمية، أكدت كثيرًا من وجهات نظر الفلاسفة الأقدمين، وكانت هذه هي النظرية الذرية لدالتون التي استطاعت تفسير القوانين الكيميائية المؤكدة التي كان من العسير فهمها. لقد ابتعدت النظرية الحديثة بعض الشيء عما ذكره دالتون، ولكن دالتون قد أرسى القاعدة التي تقول:بأن المادة تتكون من ذرات، وإن كل عنصر يحتوي على ذراته المميزة.

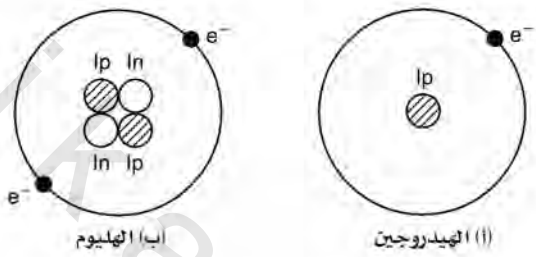
## 1ـ3 تركيب الذرة:

لقد أظهرت الدراسات الحديثة أن الذرات ليست بالمصمتة، ولا هي بالأجسام غير القابلة للتجزئة ـ كما ظن فلاسفة الإغريق ـ بل إنها تتركب من جسيمات أصغر، وهذه الجسيمات الأساسية التي تبنى منها جميع الذرات تدعى: **البروتونات والنيوترونات والإلكترونات**.

**البروتون** (p): يحمل شحنة كهربائية موجبة قدرها وحدة واحدة وفق المقياس النووي، وكتلة قدرها تقريبًا وحدة الكتلة الذرية (u).

**الإلكترون** (e): له شحنة كهربائية سالبة مساوية لشحنة البروتون الموجبة، وكتلته ( $\frac{u}{1840}$ ) التي غالبًا ما تهمل في معظم الأغراض المتعلقة بكتلة الذرة.

تحتوي الذرة عادةً على العدد نفسه من كل من البروتونات والإلكترونات، وهذا يعني أن الشحنة الموجبة الكلية في النواة مساوية للشحنة السالبة الناتجة عن إلكترونات الذرة، ومن ثم فإن الذرة تصبح ـ في العادة ـ متعادلة كهربائيًّا. يمثل الشكل (1- 2) ذرتين بسيطتين هما الهيدروجين والهليوم، ويلاحظ أن ذرة الهيدروجين هذه هي أبسط جميع الذرات، بل هي الذرة الوحيدة التي لا تحمل نيوترونات.




شكل (1-2) الأنظمة الذرية لكل من الهيدروجين والهليوم

## 1ـ4 العناصر والعدد الذري :

يطلق على عدد البروتونات في الذرة اسم العدد الذري، ويرمز إليه بالحرف (Z):

العدد الذري (Z)= عدد البروتونات

**مثال:**

الهليوم له بروتونان Z = 2.

الهيدروجين له بروتون واحد Z=1.

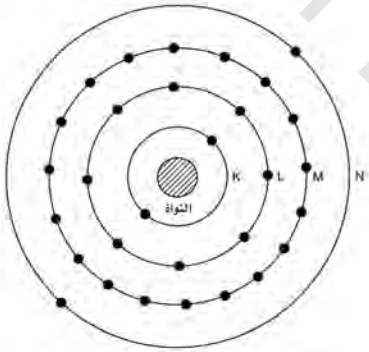
إن رمز الهليوم الكيميائي (He)، وذرة الهليوم من الصنف المذكور أعلاه، يشار إليها بالرمز $He^{4}_{2}$، وذرة الهيدروجين (ذات الرمز H) يشار إليها $H^{1}_{1}$.

**النيوترون** (n): الذي غالبًا ما يفترض أنه تركيب محكم من البروتون والإلكترون؛ لذا فهو متعادل كهربائيًّا. وعند إهمال كتلة الإلكترون فإن كتلته تقارب كتلة ذرية واحدة. وفي هذا الكتاب وأشكاله يعامل النيوترون عمومًا على أنه جسيم أساسي على غرار الاستعمال الشائع.

تكوِّن النيوترونات والبروتونات القلب المركزي للذرة، أو "النواة" التي حولها تدور الإلكترونات في أغلفة[1] مختلفة، ولقد تبين أن أقرب غلاف إلى النواة يمكنه أن يحتوي على إلكترونين حدًّا أعلى، في حين يستطيع الغلاف الثاني أن يتحمل حتى ثمانية إلكترونات، وهلمَّ جرًّا في الأغلفة الخارجية.

يطلق على الغلاف الخارجي: غلاف K، ويطلق على الثاني غلاف L، وعلى الثالث غلاف M، وهكذا.

إن الحد الأقصى لعدد الإلكترونات في الأغلفة N, M, L, K[1] هو 2، 8، 18، 32 على التوالي. وعلى سبيل المثال، فالنظام الذري للزنك (الخارصين) يوضحه الشكل (1-1)، حيث يترتب ثلاثون إلكترونًا في أربعة أغلفة.




شكل (1-1) النظام الذري للزنك (الخارصين).

(1) يمكن أن يكون في الغلاف الواحد مدارات عدة متقاربة للإلكترونات.

(2) تسلسل هذه الحروف كما في السياق العربي، أي من اليمين إلى اليسار.

وعدد البروتونات في الذرة ـ أي العدد الذري ـ يحدد خصائصها الكيميائية، ومن ثم يحدد العنصر؛ لذا فإن:

جميع الذرات ذات العدد الذري 1 هي ذرات هيدروجين.

جميع الذرات ذات العدد الذري 2 هي ذرات هليوم.

جميع الذرات ذات العدد الذري 3 هي ذرات ليثيوم.

جميع الذرات ذات العدد الذري 4 هي ذرات بيريليوم.

جميع الذرات ذات العدد الذري 5 هي ذرات بورون.

جميع الذرات ذات العدد الذري 6 هي ذرات كاربون.

...وهكذا، حتى أثقل العناصر الموجودة في الطبيعة وهو اليورانيوم ذو العدد الذري 92. وفي السنوات الماضية أُنتج اثنا عشر عنصرًا أو أكثر صناعيًّا بأعداد ذرية أكبر وكلها غير مستقرة. وإنتاجها يتم تحت ظروف خاصة، ولا توجد في الطبيعة.

## 1 ـ 5 النظائر والعدد الكتلي:

على الرغم من احتواء جميع ذرات عنصر ما على العدد نفسه من البروتونات، فإنها قد توجد بأعداد نيوترونات مختلفة، وهذا يعني أن العنصر الواحد له أنواع عدة من الذرات، فالهيدروجين يمكن أن يوجد من دون نيوترون، وبنيوترون واحد، وبنيوترونين في نواته، وهذه الأنواع الثلاثة من الذرة تدعى بنظائر الهيدروجين.

تحدد كتلة الذرة بمجموع عدد البروتونات والنيوترونات، مع إهمال كتلة الإلكترونات الصغيرة جدًّا، ومجموع عدد كل من البروتونات والنيوترونات يسمى العدد الكتلي، ويرمز إليه بالحرف "A".

العدد الكتلي "A" = عدد البروتونات + عدد النيوترونات

لنتأمل ـ على سبيل المثال ـ ذرة الهليوم في شكل (1-2 ب) تحوي 2 بروتون و2 نيوترون؛ لذا فإن عددها الكتلي هو 4. ويمكن أن يوجد الهيليوم بنيوترون واحد أو ثلاثة نيوترونات في النواة، كما هو موضح في الشكل (1- 3). وهذه النظائر الثلاثة يشار إليها بالهيليوم - 3، والهيليوم - 4 والهيليوم - 5، وتختصر عادة بـ: هيليوم - 3، وهيليوم - 4 وهيليوم- 5.

ويمكن كتابة النظير بالرمز كالآتي: ${}^{A}_{Z}X$ حيث يرمز الحرف X إلى العنصر، و A للعدد الكتلي، و Z للعدد الذري. وبهذا يرمز للهيليوم- 3: ${}^{3}_{2}He$. هذا وإن وضع العدد الذري ليس ضروريًّا؛ لأن اسم العنصر يعرف بالعدد الذري، فيكفي في معظم الأحيان كتابة $^3He$. أما في أثناء هذا الكتاب فقد أثبت العدد الذري للمساعدة على فهم الموضوع.

ولنأخذ مثلاً آخر: عنصر الفسفور (p)- عدده الذري 15 (أي إن كل ذرة فيه تحتوي على خمسة عشر بروتونًا)، ولكنه قد يوجد بعدد نيوترونات مختلف. أو بصيغة أخرى هناك نظائر عدة للفسفور، كما هو موضح في الأسفل.

${}^{28}_{15}P$ 15 بروتونًا، 13 نيوترونًا (Z=15,A=28)

${}^{29}_{15}P$ 15 بروتونًا، 14 نيوترونًا (Z=15,A=29)

${}^{30}_{15}P$ 15 بروتونًا، 15 نيوترونًا (Z=15,A=30)

${}^{31}_{15}P$ 15 بروتونًا، 16 نيوترونًا (Z=15,A=31)

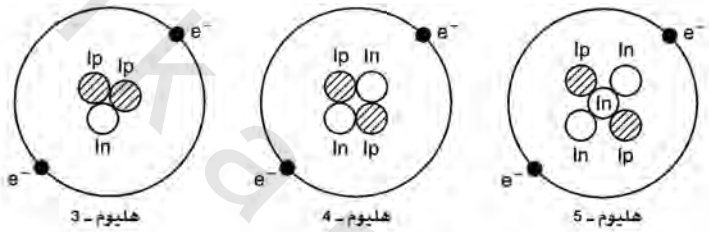
${}^{32}_{15}P$ 15 بروتونًا، 17 نيوترونًا (Z=15,A=32)

${}^{33}_{15}P$ 15 بروتونًا، 18 نيوترونًا (Z=15,A=33)

${}^{34}_{15}P$ 15 بروتونًا، 19 نيوترونًا (Z=15,A=34)

وهذه الأنماط المختلفة تدعى (النظائر) لذلك العنصر، ولهذا فإن $^{32}_{15}P$ ـ على سبيل المثال ـ أحد نظائر الفوسفور. والنظائر الثلاثة للهليوم (Z = 2) موضحة في شكل (1-3)، حيث تشير هذه النظائر عادة إلى الهليوم - 3، والهليوم - 4، والهليوم - 5 على التوالي.

ويلاحظ أن جميع نظائر عنصر ما متماثلة كيميائيًّا، لأن الخصائص الكيميائية تتعين بالعدد الذري لذلك العنصر.




شكل (1- 3) النظائر الثلاث للهليوم

ومعظم العناصر توجد في الطبيعة على هيئة خليط من النظائر، أما بقية النظائر فيمكن إنتاجها بقذف النظائر الموجودة طبيعيًّا بجسيمات نووية (كالنيوترونات مثلاً في مفاعل نووي)، وهذه النظائر المنتجة صناعيًّا ليست بالمستقرة، حيث تضمحل آخر الأمر بإشعاعها لجسيمات ثانوية أو فوتونات أشعة جاما (انظر الفصل الثاني).

وفيما عدا بعض العناصر الخفيفة، فإن عدد النيوترونات يزيد على عدد البروتونات في الذرة، والفرق يزداد بزيادة العدد الذري (Z)، كما هو موضح في الأمثلة الآتية:

$^{4}_{2}He$ 2 يحوي بروتونًا و 2 نيوترون

$^{31}_{15}P$ 15 يحوي بروتونًا و 16 نيوترونًا

$^{65}_{30}Zn$ 30 يحوي بروتونًا و 35 نيوترونًا

$^{238}_{92}U$ 92 يحوي بروتونًا و 146 نيوترونًا

تترتب كل النظائر المعروفة لجميع العناصر ـ سواء الموجودة طبيعيًّا منها أو المنتجة صناعيًّا ـ وفق جدول يعرف باسم: جدول النويدات، وهذا مما سيناقش تفصيلاً في الفصل الثاني. والمصطلح نويدة يعني أي نظير لعنصر من العناصر.

## 6.1 النظريات القديمة والحديثة:

يمكن الآن أن نتبين أن فلاسفة الإغريق القدماء قد أصابوا الحقيقة إلى حد كبير في نظريتهم القائلة: إن جميع المواد تتكون من الجسيمات الأولية نفسها، ولكن -وعلى أي حال- فبدلاً من كونها تشكيلات لنوع واحد من الجسيمات، فإن المواد المختلفة تظهر لتشكيلات مختلفة للبروتونات والنيوترونات والإلكترونات. ومن المعلوم حاليًا أن البروتونات والنيوترونات تتكون من جسيمات أصغر تدعى "كواركس" وهناك بعض الدلائل تشير إلى أن هناك جسيمات أساسية أخرى.

لذا ربما يتبين أن قدماء الإغريق قد توصلوا إلى الاستنتاج الصحيح في تجربتهم الفلسفية من أن هناك جسيمًا أساسيًّا واحدًا هو الأساس لجميع ما سواه.

## خلاصة الفصل:

**العنصر**: مادة لذراتها العدد نفسه من البروتونات.

**(u)**: وحدة الكتلة الذرية.

**البروتون**: جسيم أساسي كتلته (u)، وشحنته + 1 (وحدة).

**الإلكترون**: جسيم أساسي كتلته ($\frac{u}{1840}$)، وشحنته - 1 (وحدة).

**النيوترون**: تركيب محكم من البروتون والإلكترون، كتلته (u)، ومتعادل كهربائيًّا.

**الذرة**: نواة مركزية من البروتونات والنيوترونات، تدور حولها الإلكترونات في مداراتها.

**العدد الكتلي (A)**: عدد البروتونات + عدد النيوترونات.

**العدد الذري (Z)**: عدد البروتونات.

**النظير**: أحد نويدات عدة لها العدد الذري نفسه.

**رموز**: هناك طرق عدة تستخدم في الإشارة إلى النظير، ومن أمثلتها فوسفور-32 وP-32 و $P_{15}^{32}$ و $P^{32}$.

**النويدة**[1]: صنف نووي.

(1) النويدة: هي الذرة المميزة بتركيب خاص في نواتها من حيث عدد البروتونات والنيوترونات ومستوى الطاقة.

## أسئلة للمراجعة:

(1) اتبع التوضيح في شكل (1-1)، وارسم ذرة النويدات الآتية:

$$^{4}_{2}He, ^{6}_{3}Li, ^{7}_{3}Li, ^{8}_{4}Be$$

(2) يمكن كتابة نويدة الكوبلت ـ 60 ( $^{60}_{27}Co$ )، فكم عدد كل من البروتونات والإلكترونات والنيوترونات في هذا النوع من الذرة؟

(3) ما كتلة وشحنة كل من البروتون والإلكترون والنيوترون ـ بالمقياس الذري ـ؟

(4) ما الخصيصة الذرية التي تحدد السلوك الكيميائي للعنصر؟

(5) اشرح ماذا يعنى المصطلح "نظير"، قدم بعض الأمثلة؟

obeikandl.com

# الفصل الثاني
# الإشعاعية والإشعاع

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الثاني

# الإشعاعية والإشعاع

## 2-1 مقدمة:

قليل من المواد الموجودة في الطبيعة تحتوي على ذرات غير مستقرة تخضع لتحول تلقائي إلى ذرات ناتجة تكون أكثر استقرارًا. ومثل هذه المواد يقال لها: "**مشعة**" وعملية التحويل تعرف باسم " **الاضمحلال (التفكك أو التحلل) الإشعاعي**"، ويصاحب الاضمحلال الإشعاعي عادة انبعاث جسيمات مشحونة وأشعة جاما (γ).

وقد عرفت حقيقة إشعاع بعض العناصر طبيعيًّا لأول مرة، بواسطة بيكريل[1] عام 1896م، الذي فحص اسوداد المستحلب الفوتوغرافي، الذي عزاه إلى الإشعاع المنبعث من مركب لليورانيوم كان موجودًا بالقرب منه. وفي السنوات العشر اللاحقة، أثبتت الأعمال التجريبية الرائعة التي قام بها كل من رذرفورد، وسودي، ومدام كوري وزوجها[2] ، وآخرون غيرهم صحة الحقيقة القائلة: إن بعض النوى ليست مستقرة تمامًا، وهذه النوى غير المستقرة تبعث إشعاعات بثلاثة أنواع رئيسة تسمى: ألفا (α) وبيتا (β) وجاما (γ).

## 2-2 إشعاعات ألفا وبيتا وجاما:

**إشعاع ألفا** (α): تمت معرفته من قبل رذرفورد وروبدس على أنه نواة الهيليوم التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين، وتترابط هذه الجسيمات الأربعة مع بعضها بعضًا،

---

(1) بيكريل عالم فرنسي (1852- 1908م) منح جائزة نوبل عام 1903 لاكتشافه النشاط الإشعاعي.

(2) بيير كوري عالم فرنسي (1859 - 1906م) وزوجته مدام كوري سلكودفسكا (1867 - 1934م) منحا جائزة نوبل عام 1903م لاكتشاف النشاط الإشعاعي لأربعة نظائر طبيعية مشعة منها الراديوم.

بشدة بحيث يعامل جسيم ألفا في أحيان كثيرة بوصفه جسيمًا أساسيًّا كتلته (4u) ويحمل وحدتي شحنة موجبة.

**إشعاع بيتا** (β): عبارة عن إلكترونات سريعة جدًّا منشؤها من النواة، ولهذه "**الإلكترونات النووية**" خصائص مماثلة لإلكترونات الذرة؛ لذا فكتلتها ($\frac{u}{1840}$)، وتحمل وحدة واحدة من الشحنة السالبة. وهناك نوع آخر من إشعاع بيتا اكتشفه س. د.أندرسون[1] عام 1932م، وهذا الإشعاع يتكون من جسيمات لها كتلة الإلكترونات نفسها، ولكنها ذات شحنة موجبة، ويعرف هذا بإشعاع "**البوزيترون**". وعلى الرغم من أنه أقل أهمية من وجهة نظر الحماية الإشعاعية من جسيمات بيتا السالبة، ولكن المعرفة بالبوزيترون مهمة من أجل فهم ميكانيكية الاضمحلال الإشعاعي.

ويرمز لإشعاع بيتا إما بالرمز $\beta^-$ (الإلكترونات) أو $\beta^+$ (البوزيترونات)، وفي الاستعمال اليومي يعني المصطلح "إشعاع بيتا" عادة النوع السالب ($\beta^-$).

**إشعاع جاما** (γ): ينتمي إلى نوع يعرف بالإشعاع الكهرومغناطيسي، وهذا النوع من الإشعاع يتكون من فوتونات، وهي تماثل إلى حد ما جسيمات ألفا وبيتا، ولكن الفوتونات ليس لها كتلة، وتتكون من "أكمام" أو جيوب من الطاقة المنتقلة على شكل حركة موجية، ومن أنواعه الأخرى المعروفة: موجات الراديو، والضوء المرئي. وكمية الطاقة في كل كم تعتمد على الطول الموجي للإشعاع، ولقد وجد من التجربة أن:

$$\text{ط} \propto 1/\text{ل} \qquad [\, E \propto 1/\lambda \,]$$

حيث إن ط (E) = طاقة الكم أو "الفوتون" للإشعاع الكهرومغناطيسي،

ل ($\lambda$) = طوله الموجي.

(1) أندرسون عالم أمريكي ولد عام 1905م منح جائزة نوبل للفيزياء عام 1936م؛ لاكتشافه البوزيترون.

وهناك نوع آخر من الإشعاع غالبًا ما يماثل أشعة جاما، وهو إشعاع إكس (الأشعة السينية)، والفرق الأساسي بينهما: هو في اختلاف مصدريهما، فبينما تنتج أشعة جاما عن التغيرات في النواة، فإن الأشعة السينية تنبعث عندما تعاني إلكترونات الذرة تغيرًا في المدار.

إن الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي يتغير بمدى واسع، كما هو موضح في الجدول (2-1).

**جدول (2-1) الأطوال الموجبة للإشعاع الكهرومغناطيسي**

| نوع الإشعاع | طول الموجة (λ) بالأمتار |
|---|---|
| موجات الراديو (قناة 4 من دار الإذاعة البريطانية[1]) | 1500 |
| موجات الراديو (قناة 2، الذبذبات العالية جدًّا) | 3 |
| الضوء المرئي | $10^{-6}$ إلى $10^{-7}$ |
| الأشعة السينية (ذات طاقة 50 كيلو إلكترون فولت) | $2.5 \times 10^{-11}$ |
| أشعة جاما (طاقة مليون إلكترون فولت) | $1.2 \times 10^{-12}$ |

وجميع الإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتقل خلال الفراغ بالسرعة نفسها، التي مقدارها $3 \times 10^{8}$ م/ث (186000 ميل / ثانية)، وتتناقص هذه السرعة مع كثافة الوسط المارة فيه، ومثل هذا النقصان يمكن إهماله في حالة الهواء.

(1) ضرب المؤلفان موجة إذاعة بلادهما مثالاً، وإلا فيمكن قراءة أطوال موجات الراديو للإذاعات المختلفة من خلال واجهة الراديو.

## 3.2 الإلكترون فولت:

يعبر عن طاقة الإشعاع بوحدة "الإلكترون فولت" (eV)، والإلكترون فولت عبارة عن: "الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عند مروره عبر جهد كهربائي قدره فولت واحد". وعلى سبيل المثال: ففي أنبوب أشعة المهبط (الكاثود) في مستقبل الرائي (التلفزيون) يتم تعجيل الإلكترونات من مصدرها إلى الشاشة عبر جهد كهربائي قدره 10,000 فولت؛ لذا فإن الإلكترونات تمتلك طاقة مقدارها عشرة آلاف إلكترون فولت عندما تضرب الشاشة.

إن وحدة الإلكترون فولت صغيرة جدًّا؛ لذا فيعبر عن طاقة الإشعاع عادة بكل من كيلو (1000) أو ميجا (1000,000) إلكترون فولت.

1 كيلو إلكترون فولت (1 keV) = 1000 إلكترون فولت (1000 eV).

1 ميجا إلكترون فولت (1 MeV) = 1000,000 إلكترون فولت (1000,000 eV).

وحتى عندما يكون الإشعاع من نوع بيتا (إلكترونات)، فلا يزال ممكنًا استعمال (إلكترون فولت) بوصفه وحدة للطاقة مادامت طاقة الجسيم تعتمد على الكتلة والسرعة. وعلى سبيل المثال، فإن جسيمًا كتلته (ك)، يسير بسرعة (س) إذا كانت أصغر بكثير من سرعة الضوء، له طاقة حركية (ط) قدرها:

$$ط = 1/2 \ ك \ س^2$$

(من المهم إجراء تصحيح عندما تكون سرعة الجسيمات مقاربة لسرعة الضوء).

والجسيم الصغير كالإلكترون يتطلب سرعة أكبر من سرعة جسيم ألفا ـ مثلاً ـ كي يمتلك الطاقة الحركية نفسها. والطاقة تتناسب عكسيًّا مع طول الإشعاع الموجي في حالة الإشعاع الكهرومغناطيسي؛ لذلك فإن الإشعاع ذا الموجة الأقصر له طاقة أكبر من الإشعاع ذي الموجة الأطول.

## 4ـ2 ميكانيكية الاضمحلال الإشعاعي:

إن نوى أثقل العناصر الموجودة في الطبيعة كبيرة إلى حد يجعلها ليست بالمستقرة تمامًا، فالنظير "يورانيوم- 238" – مثلاً – له (92) بروتونًا (146) نيوترونًا ومن أجل أن تحصل النواة على استقرار نسبي، فإنها تشع جسيم ألفا؛ كي تقلل أعداد كل من البروتونات والنيوترونات إلى 90، 144 على التوالي. وهذا يعني أن النواة لها الآن عدد ذري (Z) مقداره 90 بدلاً من 92، فلم تعد هي بنواة اليورانيوم، بل إنها الآن نظير عنصر الثوريوم (Th) ذي العدد الذرى 90 والعدد الكتلي 234، الذي يدعى "الثوريوم-234". وعملية الاضمحلال هذه يمكن التعبير عنها كالآتي:

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{234}_{90}Th$$

أو أكثر شيوعًا:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{234}_{90}Th$$

ومثال آخر لهذه العملية، ألا وهو اضمحلال " البولونيوم- 218 " ( $^{218}Po$ ) بواسطة انبعاث ألفا إلى " الرصاص- 214 " ( $^{214}Pb$ ).

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} ^{214}_{82}Pb$$

وقد تبين من الفصل الأول أن النيوترونات أكثر عددًا ـ في النوى الثقيلة ـ من البروتونات، وانبعاث جسيم ألفا يقلل كلاً منهما بمقدار اثنين، ولكن نسبة انخفاض النيوترونات أقل منها ـ إلى حد ما ـ بالنسبة إلى البروتونات. ففي عملية اضمحلال $^{238}U$ ينخفض عدد البروتونات بمقدار 2 من 92 بينما عدد النيوترونات ينخفض بمقدار 2 من 146 التي هي- بوصفها نسبة – أقل بكثير، ولهذا فإن تأثير انبعاث جسيم ألفا ($\alpha$)

هو إنتاج نوى غنية بالنيوترونات وتبقى غير مستقرة. والنواة لا تقوم ببساطة بطرد نيوترون واحد (أو نيوترونات) لتصحيح هذا الاستقرار، بل إن أحد نيوترونات النواة ـ بدلا من ذلك ـ يتحول إلى بروتون بإشعاعه جسيم بيتا (β) (أي إلكترونًا سريعًا جدًّا).

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}P + \beta^{-} $$

وتدعى هذه الظاهرة "**انبعاث بيتا**" β. وفي حالة $Th^{234}$ الناتج بواسطة اضمحلال جسيم ألفا ($\alpha$) من $U^{234}$، فإن النواة ستضمحل أكثر بانبعاث $\beta^{-}$ إلى "بروتاكتنيوم – 234" ($Pa^{234}$)

$$ {}^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + \beta^{-} $$

أو

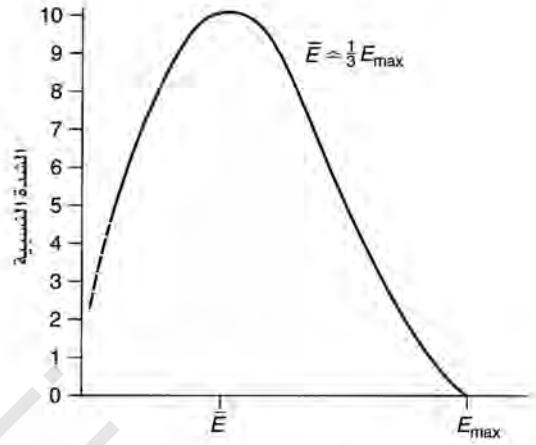
$$ {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta} {}^{234}_{91}Pa $$

وعلى افتراض " البولونيوم–218" مرة أخرى، فإن الاضمحلال يتم على النحو الآتي:

$$ {}^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^{-}} {}^{214}_{83}Bi $$

وتنتج ذرة البزموث–214، وهي ليست مستقرة، ولذلك تتوالى عمليات اضمحلال كل من جسيمات ألفا وبيتا، حتى تنتج ذرة مستقرة.

إن الإلكترونات المنبعثة خلال اضمحلال جسيم β لها توزيع مستمر للطاقة يتراوح ما بين الصفر والطاقة العظمى ط ع ($E_{max}$) التي تمثل خصيصة النواة. ولقد تبين من التجربة أن أكثر احتمال لطاقة β نحو 3/1 ط ع ($\frac{1}{3}E_{max}$). (انظر الشكل 2–1).




شكل ( 2-1) طيف بيتا النموذجي

بعد انبعاث جسيمات $\alpha$ و $\beta^-$ في معظم الحالات ـ تعيد النواة ترتيب نفسها قليلاً، وتطلق طاقة على شكل انبعاث جاما. ولا بد من الإشارة إلى نوعين آخرين من العمليات الاضمحلالية وهما انبعاث البوزيترون وأسر الإلكترون، ففي انبعاث البوزيترون يقذف بروتون النواة إلكترونًا موجبًا ( $\beta^+$ ) لينتج من ثم نيوترونًا:

$$ {}^{1}_{1}P \rightarrow {}^{1}_{1}n + \beta^+ $$

على سبيل المثال: الصوديوم - 22 (Na-22) يضمحل بانبعاث بوزترون ليتحول إلى نيون-22:

$$ {}^{22}_{11}Na \xrightarrow{\beta^+} {}^{22}_{10}Ne $$

أما أسر الإلكترون فهي عملية يؤسر فيها إلكترون المدار الداخلي من قبل النواة، فيتحول البروتون بذلك إلى نيوترون.

$$ {}^{1}_{1}P + e^- \rightarrow {}^{1}_{0}n $$

ولهذا، فإن إعادة ترتيب إلكترونات الذرة بعد ذلك يؤدي إلى انبعاث الأشعة السينية.

## 2-5 سلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي:

بغض النظر عن ( $^{22}Na$ )، فإن الأمثلة السابقة للاضمحلال الإشعاعي جميعًا هي لمواد مشعة موجودة في الطبيعة، وتنتمي إلى ما يسمى **بسلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي**. وهناك ثلاث سلاسل للاضمحلال الإشعاعي الطبيعي، وتدعى: الثوريوم، واليورانيوم-راديوم، وسلسلة الإكتنيوم (انظر الجدول 2-2)، ويتضمن الجدول المذكور كذلك سلسلة النبتونيوم التي لا توجد طبيعيًّا بسبب أن عمر النصف لأطول نظائرها عمراً هو $2.2 \times 10^6$ سنة، وهو أصغر بكثير من عمر الأرض البالغ ($3 \times 10^9$ سنة)[1] ويطلق على هذه الأربع: سلاسل الانحلال الثقيلة.

**جدول (2-2) سلاسل الانحلال الثقيلة**

| اسم السلسلة | آخر نواة مستقرة | العنصر الأطول عمرًا |
|---|---|---|
| الثوريوم | $^{208}Pb$ | $^{232}Th$ ($T_{1/2} = 1.39 \times 10^{10}$ سنة) |
| اليورانيوم-راديوم | $^{206}Pb$ | $^{238}U$ ($T_{1/2} = 4.5 \times 10^9$ سنة) |
| الأكتنيوم | $^{207}Pb$ | $^{235}U$ ($T_{1/2} = 8.52 \times 10^8$ سنة) |
| النبتونيوم | $^{209}Pb$ | $^{237}U$ ($T_{1/2} = 2.2 \times 10^6$ سنة) |

لقد استخدم مصطلح سلسلة؛ لأن الذرة يحدث لها اضمحلال إشعاعي متوالٍ حتى تصل إلى حالة الاستقرار. ففي سلسلة الثوريوم الذرة الأولى هي ثوريوم-232 يحدث لها اضمحلال إشعاعي متعاقب كالآتي:

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta^-} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{224}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{220}_{86}Rn$$
$$\xrightarrow{\alpha} {}^{216}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{212}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{212}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{212}_{84}Po \rightarrow {}^{208}_{82}Pb$$

(1) يقدر عمر الأرض حسب الدراسات الحديثة $4.45 \times 10^9$ سنة.

إن أعمار الأنصاف في أفراد هذه السلسلة تتراوح بين 0.15 ثانية للبولونيوم-216 و1.4 × $10^{10}$ سنة) للثوريوم-232.

## 2 ـ6 الإشعاعية المحتثة:

ربما تصبح العناصر الأخف مشعة بعد قذفها بجسيمات نووية. وهذه العملية تتضمن، قذف نواة مستقرة لعنصر ما بالنيوترونات في مفاعل نووي، فإذا ما اصطدم النيوترون بالنواة فقد تأسره مع انبعاث إشعاع جاما γ، وتسمى مثل هذه العملية تفاعل نيوترون-جاما (γ , n) حيث تكون الذرة الناتجة -اعتياديًّا- غير مستقرة بسبب زيادة نيوترون، ومن ثم فإنها تضمحل بواسطة إشعاع بيتا.

إذا ما قُذِف النظير المستقر (كوبالت-59) بالنيوترونات فسوف تنتج ذرات النظير المشع (كوبالت-60)، وتعاني هذه الذرات أخيرًا اضمحلال بيتا لتتحول إلى ذرات النظير المستقر (النيكل-60) وتكتب هذه العملية كالآتي:

$$^{59}_{27}Co(n,\gamma)Co^{60}_{27} \qquad ^{60}_{27}Co \xrightarrow{\beta} ^{60}_{28}Ni$$

هناك أنشطة إشعاعية متنوعة وعمليات اضمحلال أخرى ستناقش فيما بعد.

## 2 ـ7 وحدة الإشعاعية:

إن الاضمحلال في أي عينة مشعة أمر احتمالي بطبعه، وعلى ذلك فمن المستحيل التنبؤ بتحلل ذرة بعينها، ونتيجة هذا الارتياب المتعلق بسلوك الذرة، فإن قانون الاضمحلال الإشعاعي له طبيعة أسِّية، ويعبر عنه رياضيًّا:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

حيث $N_0$ عدد النوى الأصلية الموجودة.

N عدد النوى الموجودة عند الزمن (t)،

λ ثابت الاضمحلال الإشعاعي.

إن عمر النصف ( $T_{1/2}$ ) لنظير مشع: "هو الزمن اللازم لاضمحلال نصف نوى العينة" ويمكن حسابه بوضع ( $N=\frac{No}{2}$ ) في المعادلة أعلاه:

$$\frac{No}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

وبقسمة المعادلة على $N_0$ وأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\log_e\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T_{1/2}$$

والآن

$$\log_e \frac{1}{2} = -\log 2$$

ولهذا، فإن:

$$T_{1/2}=\frac{\log 2}{\lambda}=\frac{0.693}{\lambda}$$

ومادام معدل التحلل، أو النشاط الإشعاعي للعينة يتناسب مع عدد النوى المستقرة، فهذا يعني أنه متغير أسّيًّا مع الزمن، أي:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

وهذه العلاقة موضحة في الشكل (2-2)، الذي يظهر تغير نشاط العينة مع الزمن، إذ يضمحل النشاط الإشعاعي -خلال نصف عمر واحد- إلى ( $\left(\frac{1}{2}\right)A_0$ )،

وخلال ضعف نصف العمر إلى ( $\left(\frac{1}{4}\right)A_0$ )، وهكذا...

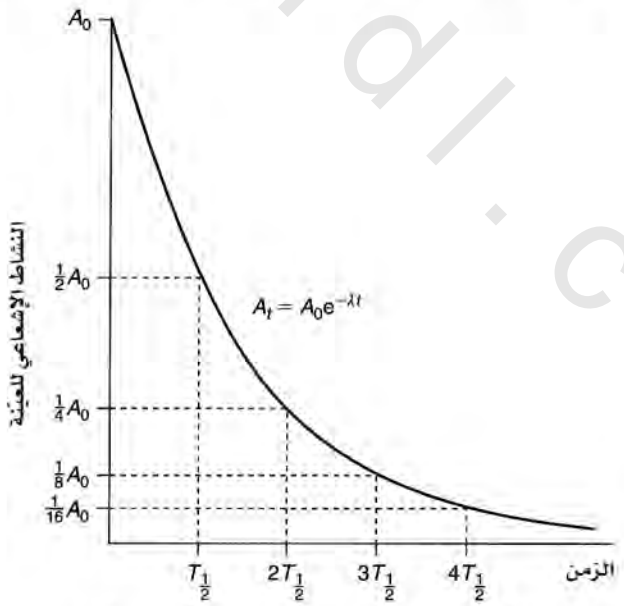
إن عمر النصف لأي نظير مشع مقدار ثابت، وقياسه يساعد على معرفة العينة الإشعاعية ذات التركيب المجهول، ويمكن فقط تطبيق هذه الطريقة على النظائر التي معدل

اضمحلالها يتغير -بقدر معقول- في مدد زمنية معقولة يمكن حسابها، ومن الجانب الآخر لا بد أن يكون للنظير نصف عمر كافٍ؛ ليتسنى معه إجراء بعض القياسات قبل أن يضمحل بأكمله. ومن أجل تعيين أعمار نصف متناهية الصغر أو متناهية الكبر، فلا بد من استعمال وسائل أكثر إتقانًا.

إن مدى أعمار النصف تتراوح بين $10^{-14}$ سنة للبولونيوم ($Po^{212}$)، وحتى نحو $10^{17}$ سنة للبريليوم ($Bi^{209}$)، وهذا المدى يمثل معاملاً قدره $10^{31}$.

قبل سنوات قليلة كانت **الكوري** (Ci) هي الوحدة الإشعاعية، وقد استبدلت حديثًا وحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي [SI] بالبيكريل (Bq) ، ووحدة الكوري مرتبطة أساسًا بإشعاع غرام واحد من الراديوم، ولكن التعريف استقر أخيرًا على أنه $3.7 \times 10^{10}$ تحلل نووي/ ثانية، وهو المقدار السابق نفسه إلى حد ما.

1كوري (Ci)= $3.7 \times 10^{10}$ تحلل/ ثانية أو $2.22 \times 10^{12}$ تحلل/ دقيقة




شكل (2-2) تغير النشاط الإشعاعي مع الزمن

والبيكريل (Bq) تعرف على أنها "تحلل نووي واحد في الثانية"، وبمقارنتها بوحدة الكوري تظهر أنها جد صغيرة، ونظراً لكون إشعاعية معظم النظائر المشعة أكبر بكثير من البيكريل، لذا تستخدم – للأغراض العملية – بادئات الضرب الآتية:

1 بيكريل= 1 تحلل/ ثانية

1 كيلو بيكريل (kBq)= $10^3$ بيكريل= $10^3$ (تحلل/ ثانية)

1 ميجا بيكريل (MBq)= $10^6$ بيكريل= $10^6$ (تحلل/ ثانية)

1 جيجا بيكريل (GBq)= $10^9$ بيكريل= $10^9$ (تحلل/ ثانية)

1 تيرا بيكريل (TBq)= $10^{12}$ بيكريل= $10^{12}$ (تحلل/ ثانية)

1 بيتابيكريل (PBq)= $10^{15}$ بيكريل= $10^{15}$ (تحلل/ ثانية)

وللتسهيل في هذا الكتاب، فسوف تستعمل كل من الوحدات بيكريل، ميجا بيكريل، تيرا بيكريل فقط.

وكما وضح آنفًا من أن الاضمحلال الإشعاعي يتضمن انبعاث جسيم مشحون ($\alpha$ أو $\beta$). وهذا قد يكون مصحوبًا ـ ولكن ليس دائمًا ـ بانبعاث واحد أو أكثر لـ $\gamma$. وبعض النويدات تبعث X أو $\gamma$ فقط.

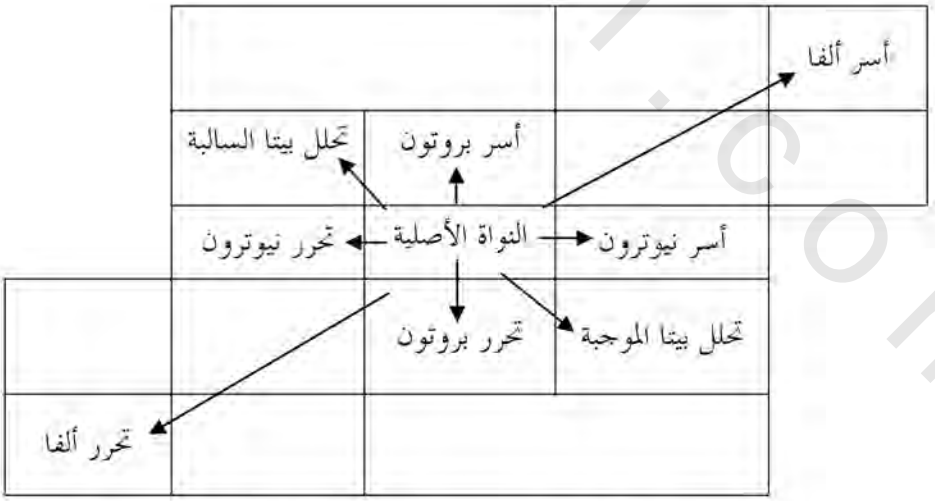
## 2ـ8 جدول النويدات:

جدول النويدات هو جمع للمعلومات التي تخص جميع النويدات المعروفة، المستقر منها وغير المستقر، ويظهر الشكل (2-3) قسمًا من هذا الجدول.

وفي هذا الجدول يمثل كل خط أفقي عنصرًا وتمثل المربعات في هذا الخط النويدات أو النظائر لهذا العنصر، وطبعت بداخل كل مربع المعلومات الخاصة بتلك النويدة، وقد

ميزت كل من النويدات المستقرة والمشعة طبيعيًّا أو صناعيًّا باستعمال ألوان مختلفة أو بتظليل لتلك المربعات، ويظهر ـ في كل مربع ـ الرمز والعدد الكتلي، وكذلك التوافر الطبيعي للنظير. أما بالنسبة إلى النظائر المشعة، فيظهر ـ أيضًا ـ كل من عمر النصف، وأنماط الانحلال، وطاقة الجسيمات المشحونة، وطاقة الجسيمات المتحررة أو أشعة γ. وفي شكل (2-3) تقع جميع النويدات التي لها العدد الذري نفسه على خط أفقي واحد، بينما تقع جميع النويدات المتماثلة بالعدد الكتلي على الخط المائل بزاوية 45، وتبدأ من أعلى اليسار، وتنتهي بأسفل اليمين. إن بعض جداول النويدات تحتوي على معلومات إضافية حذفت من هذا النموذج (شكل 2-3) من أجل أن يكون واضحًا.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Si 25 | Si 26 | Si 27 | Si 28 | Si 29 | Si 30 | Si 31 | Si 32 |
| | | | | Al 24 | Al 25 | Al 26 | Al 27 | Al 28 | Al 29 | Al 30 | |
| | | Mg 21 | Mg 22 | Mg 23 | Mg 24 | Mg 25 | Mg 26 | Mg 27 | Mg 28 | | |
| | | Na 20 | Na 21 | Na 22 | Na 23 | Na 24 | Na 25 | Na 26 | | | |
| Ne 17 | Ne 18 | Ne 19 | Ne 20 | Ne 21 | Ne 22 | Ne 23 | Ne 24 | | | | |




شكل (2- 3) جزء من جدول النويدات

يمكن استعمال "جدول النويدات" لمعرفة معلومات سريعة عن نتائج عدة تفاعلات نووية. كمثال، فإن تفاعل (n, γ) للصوديوم-23 ($^{23}Na$) ينتج الصوديوم-24 ($^{24}Na$)، وهذا $^{24}Na$ يشع بدوره - بعمر نصف قدره 15 ساعة - جسيمات بيتا ($\beta^-$) بطاقة قدرها 1.39 ميجا إلكترون فولت، والنواة الناتجة عن اضمحلال ($^{24}Na$) هي المغنيسيوم-24 ($^{24}Mg$) المستقر. إنه لمن الواضح - حتى من الشكل المبسط (2-3) - أن جدول النويدات يشكل مصدرًا قيمًا جدًّا للمعلومات عن خصائص كل من النويدات المستقرة وغير المستقرة.

## 2 ـ 9 تفاعل الإشعاع مع المادة:

### 2- 9- 1 الجسيمات المشحونة:

تفقد كل من جسيمات α وβ الطاقة - بشكل رئيس- من خلال تفاعلاتها مع إلكترونات الذرات في الوسط الممتص، والطاقة المنتقلة للإلكترونات، إما تثيرها إلى مستويات طاقة أعلى (**الإثارة**)، أو تفصلها عن الذرة الأم (**التأين**). وهناك تأثير مهم آخر ألا وهو انبعاث الطاقة على شكل أشعة سينية من الجسيمات المشحونة، وذلك عندما تتناقص سرعتها فجأة، وهذا ما يعرف باسم أشعة الكبح أو أشعة التوقف، وتكتسب هذه أهميتها - من الناحية الفعلية - في حالة إشعاع بيتا فقط.

### 2- 9- 2 إشعاعات جاما والأشعة السينية:

تتفاعل كل من الأشعة السينية وأشعة جاما مع المادة خلال كثير من الطرق البديلة، وأكثرها أهمية، ثلاثة: **الأثر الكهروضوئي، واستطارة كومبتن**[1]، **ونتاج الزوج.**

(1) نسبة إلى مكتشفها العالم الأمريكي آرثر كومبتن (1892- 962 أم) المولود في أوهايو في 1892م، حصل على الدكتوراه من جامعة برنستون عام 1916م، تقلد منصب رئيس قسم الفيزياء في جامعة واشنطن في سانت لويس عام 1920م، وشغل أيضًا منصب رئيس الجامعة المذكورة. منح عام 1927م جائزة نوبل؛ لاكتشافه هذه الظاهرة مع ت. ويلسون الإنجليزي.

فى الأثر الكهروضوئى، تنتقل طاقة فوتون جاما أو فوتون الأشعة السينية بأكملها إلى إلكترون الذرة الذي ينطلق عن النواة الأم، ويمتص الفوتون كليًّا في هذه الحالة، - وعلى النقيض من ذلك - فإنه عندما تحدث استطارة كومبتن فإن جزءًا من طاقة الفوتون فقط ينتقل إلى إلكترون الذرة، وعندها يستطار الفوتون بطاقة منخفضة. في المجال الكهربائي الشديد قريبًا من جسيم مشحون[1] (النواة في العادة). ربما يتحول فوتون جاما ذو الطاقة العالية إلى زوج "بوزيترون-إلكترون"، وهذا ما يطلق عليه "نتاج الزوج" حيث يتشارك الجسيمان المتولدان في الطاقة المتبقية. وهكذا، فإن جميع التفاعلات الثلاثة تنتج عن انتقال طاقة الفوتون إلى إلكترونات الذرة، التي بدورها تفقد طاقة، كما شرح ذلك في بند (2-9-1).

## 2- 9- 3 النيوترونات:

لأن النيوترونات ليست مشحونة، لذا فلا يمكنها أن تؤدي مباشرة إلى تأين، ولكن النيوترون -كما في حالة إشعاع جاما- ينقل طاقته آخر الأمر إلى الجسيمات المشحونة.

وإضافة إلى ذلك، فإن النيوترون -ربما- يؤسر من قبل النواة، فيصدر عنها عادة إشعاع جاما. إن هذه العملية ستوصف بتفصيل أكبر في الفصل الثامن.

يلخص الجدول (2- 3) أنواع تفاعلات الإشعاعات النووية مع المادة.

(1) هذا الأمر ضروري لتحقيق قانوني حفظ الطاقة والزخم.



openkandil.com

## جدول (2- 3) تفاعلات الإشعاعات النووية

| الإشعاع | العملية | ملاحظات |
|---|---|---|
| ألفا ( $\alpha$ ) | تصادمات غير مرنة مع إلكترونات مقيدة | يؤدى إلى إثارة وتأين |
| بيتا ( $\beta$ ) | ( أ ) تصادمات غير مرنة مع إلكترونات الذرات | يؤدى إلى إثارة وتأين |
| | (ب) تباطؤ في مجال النواة | يؤدى إلى انبعاث أشعة الكبح |
| إشعاع X, $\gamma$ | ( أ ) الأثر الكهروضوئي | يمتص الفوتون كلية |
| | (ب) تأثير كومبتن | يمتص جزءًا من طاقة الفوتون |
| | (جـ) نتاج الزوج | |
| نيوترون (n) | (أ) الاستطارة المرنة | نوقشت في الفصل الثامن |
| | (ب) الاستطارة غيرالمرنة | |
| | (جـ) عمليات الأسر (الامتصاص) | |

### 2-10 القدرات الاختراقية للإشعاعات النووية:

إن جسيم $\alpha$ ككتلة ضخمة -بالمقياس النووي- ينتقل بسرعة بطيئة نسبيًّا خلال المادة؛ لذا فهو يملك فرصة عالية في تفاعله مع الذرات خلال مساره، ويمنح بعض طاقته عند كل من هذه التفاعلات. لهذا، فإن جسيم $\alpha$ يفقد طاقته بسرعة، ومن ثم، فهو يتحرك فقط عبر مسافة جد قصيرة في الوسط الكثيف.

أما جسيمات بيتا فحركتها أسرع؛ لأنها أصغر من جسيمات $\alpha$؛ لذا فهي تعاني تفاعلات أقل عبر وحدة طول المسار، وتمنح طاقتها بأبطأ مما هو عليه في حالة $\alpha$، وهذا يعني أن جسيمات $\beta$ تنتقل في الأوساط الكثيفة مدى أطول من جسيمات $\alpha$.

تفقد أشعة جاما طاقتها ـ بشكل رئيس ـ بسبب تفاعلها مع إلكترونات الذرات، وتنتقل بسرعة جد كبيرة خلال الأوساط الكثيفة، ومن الصعب جدًّا امتصاصها كليًّا. تعطي النيوترونات طاقتها خلال أنماط من التفاعلات، والأهمية النسبية لكل تفاعل تعتمد بشكل كبير على طاقة النيوترون ولهذا السبب، فمن اللائق عمليًّا تقسيم النيوترونات إلى ثلاثة مجاميع طاقة على الأقل: **السريعة، والمتوسطة، والحرارية**. إن النيوترون جد مخترق، ويقطع مسافات طويلة في الأوساط الكثيفة.

في الجدول (2- 4) ملخص لخصائص مختلف الإشعاعات النووية ومداها[1]، وهي مجرد أرقام تقريبية تعتمد على طاقة الإشعاع.

**جدول (2- 4) خصائص الإشعاعات النووية**

| الإشعاع | الكتلة | الشحنة | المدى في الهواء | المدى في الأنسجة |
|---|---|---|---|---|
| ألفا ( $\alpha$ ) | 4 | 2+ | 0.03 متر | 0.04 ملم |
| بيتا( $\beta$ ) | 1840/1 | 1- (1+) | 3 متر | 5 ملم |
| إشعاع ($X, \gamma$) | صفر | صفر | عالٍ جدًّا | يخترق الجسم |
| نيوترون سريع | 1 | صفر | عالٍ جدًّا | يخترق الجسم |
| نيوترون حراري | 1 | صفر | عالٍ جدًّا | 0.15 م |

(1) المدى: أبعد نقطة يصل إليها الإشعاع.



obeikandl.com

## خلاصة الفصل:

**الاضمحلال الإشعاعي**: تحوُّل مادة غير مستقرة إلى شكل أكثر استقرارًا، مصحوبة ـ في العادة ـ بانبعاث جسيمات مشحونة وأشعة γ.

**إشعاع ألفا**α: نوى الهليوم (بروتونان + نيوترونان)، الكتلة (4u)، الشحنة (+2 وحدة).

**إشعاع بيتا**β: إلكترونات سريعة جدًّا تنشأ عن النواة، الكتلة ($\frac{u}{1840}$)، الشحنة (-1 إلكترون) أو (+1 بوزيترون).

**إشعاع جاما**γ: إشعاع كهرومغناطيسي، طول موجي قصير جدًّا، $E \propto \frac{1}{\lambda}$، الكتلة تساوي صفرًا، مقدار الشحنة صفر.

**إلكترون فولت**: الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عند مروره خلال جهد كهربائي قدره فولت واحد.

$10^6$ إلكترون فولت ($10^6$ eV) =$10^3$ كيلو إلكترون فولت ($10^3$ keV)

= ميجا إلكترون فولت (MeV)

**سلسلة النشاط الإشعاعي**: تتكون من المواد الإشعاعية الموجودة طبيعيًّا، السلاسل الثلاث هي: الثوريوم، واليورانيوم-راديوم، والأكتنيوم.

**الإشعاعية المحتثة**: إشعاعية متولدة نتيجة قذف الذرات المستقرة بجسيمات نووية، مثل النيوترونات في مفاعل نووي.

**قانون الاضمحلال الإشعاعي**: $N = N_0 e^{-\lambda t}$

**عمر النصف**: الزمن اللازم لاضمحلال نصف نوى الصنف المشع.

$$T_{\frac{1}{2}} = 0.693 / \lambda$$



obeikandl.com

**الكوري**: الوحدة السابقة للإشعاعية، وتعرف على أنها $3.7 \times 10^{10}$ تحلل / ثانية، 1 كوري (1Ci) = $10^{3}$ ملي كوري ($10^{3}$ mCi) =$10^{6}$ مايكروكوري ($10^{6}$ μCi)

**البيكريل**: وحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي، وتعرف على أنها تحلل واحد/ ثانية.

1 تيرا بيكريل (1 TBq)= $10^{6}$ ميجا بيكريل ($10^{6}$ MBq)

=$10^{12}$ بيكريل ($10^{12}$Bq).

**جدول النويدات**: تصنيف المعلومات لجميع النويدات المعروفة.

**فقدان الطاقة**: يتم في حالة:

جسيمات ألفا: تخسر طاقتها خلال الإثارة والتأين.

جسيمات بيتا: تخسر طاقتها خلال:

( أ ) الإثارة والتأين لإلكترونات الذرة.

(ب) التباطؤ الحاد مع انبعاث أشعة الكبح.

فوتونات جاما: تخسر طاقتها خلال:

( أ ) الأثر الكهروضوئي.

(ب) استطارة كومبتن.

(جـ) نتاج الزوج.

النيوترونات: تخسر طاقتها خلال:

( أ ) الاستطارة المرنة.

(ب) الاستطارة غير المرنة.

(جـ) تفاعلات الأسر (الامتصاص).

obeikandl.com

## أسئلة للمراجعة:

(1) اشرح الفرق بين النشاط الإشعاعي والإشعاع؟

(2) أعطِ أسماء نواتج عمليات الاضمحلال الإشعاعي الآتية:

أ- اضمحلال ألفا ( $\alpha$ ) لليورانيوم- 238 ( $^{238}_{92}U$ ).

ب- اضمحلال بيتا ( $\beta^-$ ) للتريتيوم ( $^{3}_{1}H$ ).

جـ- اضمحلال بيتا ( $\beta^+$ ) للنحاس-62 ( $^{62}_{29}Cu$ ).

(3) اشرح سبب وجود ثلاث سلاسل فقط للنشاط الإشعاعي الموجود طبيعيًّا.

(4) احسب عمر النصف لمادة مشعة من خلال سلسلة الحسابات الآتية:

| الزمن بالدقائق | صفر | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النشاط الإشعاعي (ومضة / دقيقة) | - | 820 | 605 | 447 | 330 | 243 | 180 | 133 | 98 |

(5) عبّر عن الأنشطة الإشعاعية الآتية بميجابيكريل:

( أ ) $5 \times 10^6$ تحلل/ثانية.

(ب) 750 كيلوبيكريل.

(جـ) 1.3 جيجا بيكريل.

( د ) $6 \times 10^7$ تحلل/ دقيقة.

(6) لماذا يتبع اضمحلال ألفا ـ عادة ـ باضمحلال بيتا السالب ( $\beta^-$ )؟

(7) استخدم جدول النويدات في كتابة ناتج أو النواتج المرحلية التي ستنتج من تفاعل الامتصاص (n,γ) للنويدات الآتية:

الحديد 59 ( $^{59}_{27}Fe$ ) ، الصوديوم 23 ( $^{23}_{11}Na$ ) ، البلوتونيوم 239 ( $^{239}_{94}Pu$ ).

# الفصل الثالث

# وحدات الإشعاع

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الثالث

# وحدات الإشعاع

## 3ـ1 امتصاص الطاقة:

تنتقل الطاقة ـ تمامًا كما ينتقل كل من الحرارة والضوء ـ بواسطة الإشعاع من الشمس إلى الأرض أو الجو، وكذلك الإشعاع النووي ينقل الطاقة من المصدر إلى الوسط المستقبل، وقد يكون مصدر الإشعاع النووي ذرات مشعة أو جهازًا مثل جهاز الأشعة السينية.

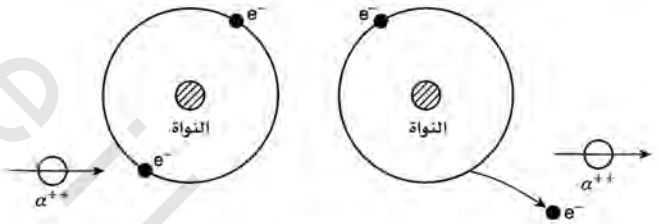
إن تأثير امتصاص الأنواع الأخرى الشائعة من الإشعاع –كالحرارة– هو رفع درجة حرارة الوسط المستقبل، فإذا ما كان هذا الوسط هو الجسم البشري أو جزءًا منه، فإن ارتفاع درجة الحرارة يمكن إحساسه، فإذا ما حصل المزيد من الحرارة، فسوف يتخذ الإجراء اللازم لمنعها، إما بالاحتماء بالظلال – على سبيل المثال – (**الحواجز الواقية**) أو بالتحرك بعيدًا عن النار (**المسافة**). في حين إن جرعة من أشعة جاما أو من أي إشعاع نووي آخر، عالية لدرجة تكفي لقتل إنسان لا ترفع درجة حرارة الجسم إلا بأقل من واحد بالألف من الدرجة المئوية. ومن ثم، فإن الجسم غير قادر على الإحساس حتى بالتركيزات العالية جدًّا من هذه الأنواع من الإشعاع.

إن الإشعاع النووي يختلف عن الحرارة والأنواع الأخرى من الإشعاع، وذلك لأن كل جسيم أو فوتون يحمل طاقة هائلة ملائمة لإحداث تأين، وسبب هذه الطاقة العالية سرعة الجسيمات الهائلة، أو قصر الأطوال الموجية لكل من الأشعة السينية وإشعاع جاما.

## 3ـ2 التأين:

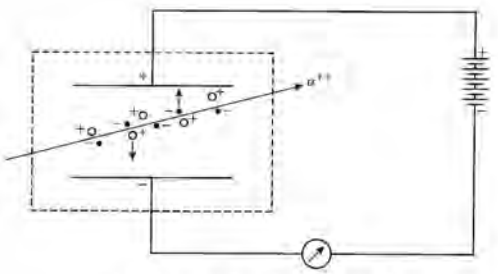
**التأين**: عبارة عن فقدان الذرة لأحد إلكترونات المدار، ومادام الإلكترون قد فقد، تصبح شحنة الذرة موجبة. ويعرَف كل من الذرة والإلكترون المنفصل عنها **بزوج**

**أيوني**، حيث الأيون الموجب هو (الذرة) ناقص إلكترون والأيون السالب (الإلكترون). وتكفي كمية صغيرة من الطاقة لإحداث التأين؛ لذا فبإنتاج أزواج أيونية فإن جسيمات الإشعاع أو فوتوناته تخسر من طاقتها إلى الوسط. يبين شكل (3–1) تأين ذرة الهليوم بواسطة جسيم ألفا.




شكل ( 3-1) تأين ذرة الهليوم بواسطة جسيم ألفا

يعود اتحاد الأيونات الموجبة والسالبة ـ عادة ـ لتكوين ذرات متعادلة، والطاقة الممنوحة ـ أساسًا ـ إلى زوج الأيون تتحول إلى طاقة حرارية، فإذا ما كان الوسط المستقبل غازًا ـ كالهواء ـ فيمكن منع الأيونات من إعادة الاتحاد بتسليط مجال كهربائي. ويتم هذا بوضع جهد بين لوحين (قطبين) بينهما فجوة غازية. يبين الشكل (3 – 2) مثل هذا الجهاز، والمعروف باسم **غرفة التأين**، وفيه تنتج أزواج الأيونات على خط مسار دقائق ألفا، فإذا ما كان فرق الجهد المسلط مرتفعًا إلى حد كافٍ، فسوف تنجذب الأيونات السالبة الناتجة في الحيز المحصور بين القطبين نحو القطب الموجب، وتتجه الأيونات الموجبة نحو القطب السالب.




شكل (3-2) جهاز غرفة التأين

يؤدي سيل الأيونات المنسابة نحو الأقطاب المناسبة إلى تيار كهربائي، ولأن هذا التيار يتناسب مع كثافة الإشعاع، فهذا يعني أن غرف التأين توفر طرقًا لقياس الإشعاع. ولا بد من التنويه إلى أنه على الرغم من ظهور العدد القليل من أزواج الأيونات في الرسم، فهناك مئات عدة من أزواج الأيونات تتكون في السنتيمتر الواحد في حالة جسيمات بيتا في مسار الهواء، وفي حالة جسيمات ألفا ترتفع إلى بضع عشرات الألوف.

في وسط كالماء (حيث معظم تكوين الجسم البشري منه) يمكن للتأين أن يؤدي إلى تحطيم جزيئات الماء، وتكوين أشكال كيميائية متلفة للمواد الحية. ومن هنا كانت التأثيرات المضرة للإشعاع على الجسم البشري ـ التي ستوصف في الفصل الرابع ـ يمكن عزوها إلى حد كبير لمثل هذه التفاعلات الكيميائية.

وتأين الغاز ـ كما شرح آنفًا ـ يهيىء طرق اكتشاف الإشعاع، وإن أول وحدة إشعاعية استعملت على مدى واسع، كانت **الرونتجن** قد وضعت على أساس أثر تأين الهواء بكل من الأشعة السينية وأشعة جاما. وعلى هذه الوحدة تحفظات عدة، لذا فقد ظهرت وحدتان أخريان هما:- **الراد (rad)**، **والريم (rem)**، واستبدلتا فيما بعد في النظام الدولي بكل من **الجراي (Gy)** **والسيفرت (Sv)** على التوالي.

لقد تم توثيق كل من الوحدتين (جراي) و(سيفرت) من قبل الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع والقياسات (ICRU)، واستعملت من قبل الهيئة العالمية للحماية الإشعاعية (ICRP)، ولكن لا تزال الوحدتان القديمتان ـ الراد والريم ـ تستخدمان في بعض البلدان، ويوضح الملحق " أ " العلاقة بين الوحدات القديمة ووحدات النظام الدولي.

### 3ـ3 جرعة الامتصاص:

هي مقدار الطاقة المترسبة ـ في أي وسط ـ من قبل أي نوع من أنواع الأشعة المؤينة. ولقد كانت الوحدة الأصلية لجرعة الامتصاص هي راد التي عرفت على أنها "طاقة مترسبة قدرها 0.01 جول/كغم".

إن وحدة جرعة الامتصاص في النظام الدولي للوحدات تدعى **جراي (Gy)**، وتعرف على أنها "ترسب طاقة قدرها 1 جول/كغم". إذن:

1 جراي (Gy) = 1 جول/كغم

ومن المهم، عند ذكر جرعة الامتصاص أن يحدد وسط الامتصاص.

## 4.3 الجرعة المكافئة:

مع كون كمية **جرعة الامتصاص** فكرة فيزيائية مفيدة، فإنها لا تعكس مفهوم التساوي في درجة التلف ـ للأجهزة الحية ـ الناتجة عن نفس جرعة امتصاص الأنواع المختلفة من الإشعاع، ولقد وجد ـ على سبيل المثال ـ أن 0.05 جراي من النيوترونات السريعة يمكنها إحداث تلف بيولوجي مماثل لما يحدثه 1 جراي من إشعاع جاما، وهذا الفرق في التأثير البيولوجي يجب أخذه في الحسبان إذا ما رغبنا في جمع جرع من مختلف الإشعاعات لإيجاد الجرعة الكلية للتأثير البيولوجي، ولإنجاز هذا يجب ضرب جرعة الامتصاص لكل نوع من الإشعاع **بمعامل الإشعاع النوعي** ($w_R$)، الذي يعكس قابلية ذلك الإشعاع لإحداث تلف، وعندما تضرب جرعة الامتصاص بمعامل الإشعاع النوعي تعرف الكمية الناتجة باسم **الجرعة المكافئة**.

ووحدة الجرعة المكافئة في النظام الدولي للوحدات هي **سيفرت (Sv)** ويمكن ربطها بالجراي (Gy) كالآتي:

الجرعة المكافئة (Sv) = جرعة الامتصاص (Gy) × معامل الإشعاع النوعي ($w_R$).

وقيمة معامل الإشعاع النوعي ($w_R$) تعتمد على كثافة التأين المتسبب عن الإشعاع، حيث ينتج جسيم ألفا نحو مليون زوج أيوني في المليمتر الواحد من المسار في النسيج، في حين جسيم بيتا ينتج نحو عشرة آلاف منها في المليمتر الواحد. لقد اتخذ معامل الإشعاع

النوعي ($w_R$) قيمة الواحد لإشعاع جاما، وحددت قيم بقية أنواع الإشعاع بموجبه حسب كثافة تأيناتها.

ولأن أشعة بيتا تسبب تأينًا مساويًا بكثافته لما يتسبب عن أشعة جاما، فإن معامل إشعاعها النوعي ($w_R$) سيتخذ الرقم (1) أيضًا. أما بالنسبة إلى النيوترونات، فإن معامل إشعاعها النوعي ($w_R$) يعتمد على طاقتها؛ لذا فقيمته تتراوح بين (5) للنيوترونات الحرارية و(20) للنيوترونات السريعة، ويتخذ المعامل ($w_R$) القيمة (20) لجسيمات ألفا والجسيمات الأخرى المضاعفة الشحنة.

إن قيم ($w_R$) للإشعاعات - التي غالبًا ما تواجهها - ملخصة في الجدول (3-1).

**جدول (3 - 1) خلاصة قيم معامل الإشعاع النوعي ($w_R$)**

| نوع الإشعاع | معامل الإشعاع النوعي ($w_R$) |
|---|---|
| الأشعة السينية، أشعة جاما، الإلكترونات | 1 |
| البروتونات | 5 |
| النيوترونات الحرارية | 5 |
| النيوترونات السريعة | 20 - 5 |
| جسيمات ألفا، نواتج الانشطار النووي | 20 |

(1) يعتمد على طاقة النيوترونات.

**مثال 3-1:**

تعرض عامل في سنة واحدة إلى جرعة جاما ($\gamma$) قدرها 0.01 جراي وجرعة نيوترونات حرارية ($N_s$) قدرها 0.0001 جراي، وجرعة نيوترونات سريعة ($N_f$) قدرها 0.0002 جراي، فما الجرعة المكافئة الكلية؟

**الحل:**

الجرعة المكافئة = جرعة الامتصاص × معامل النوعية

الجرعة المكافئة لإشعاع جاما = 0.01 × 1 = 0.01 سيفرت

الجرعة المكافئة للنيوترونات الحرارية = 0.001 × 5 = 0.005 سيفرت

الجرعة المكافئة للنيوترونات السريعة = 0.0002 × 20 = 0.004 سيفرت

الجرعة المكافئة الكلية = 0.019 سيفرت

سنشير إلى **الجرعة المكافئة** من الآن فصاعدًا "بالجرعة" للسهولة، عند أَمْنِ اللبس.

## 3-5 الجرعة المؤثرة:

تتباين الأعضاء والأنسجة المختلفة في حساسيتها للإشعاع، وهذا قد عقّد الأمر في التعامل مع تعرض الجسم غير المتجانس للإشعاع، وهو أمر معتاد في التعرضات الإشعاعية؛ لذا فإن هناك حاجة لإدخال مصطلح آخر يسمى (**الجرعة المؤثرة**) ويحصل عليه من جمع الجرع المكافئة لكل أنسجة الجسم وأعضائه بعد ضرب كل واحد منها بمعامل النسيج النوعي ($w_T$) الخاص به. ويمكن كتابة ذلك بالمعادلة الآتية:

$$\text{الجرعة المؤثرة } (E) = \text{مجموع } (\text{الجرعة المكافئة } (H_T) \times \text{معامل النسيج النوعي } (w_T))$$

حيث إن ($H_T$) هو الجرعة المكافئة للنسيج (T). إن أساسات معاملات الأنسجة النوعية مناقشة كذلك في الفصلين الرابع والسابع. وينبغي الإشارة هنا إلى أن وحدة الجرعة المؤثرة هي أيضًا تستخدم وحدة السيفرت (Sv).

## 3-6 الأجزاء العشرية:

في مجال مستويات التعرض الإشعاعي المهني الذي يواجه في بيئة العمل، يصبح كل من الوحدتين جراي وسيفرت كبيرًا جدًّا وغالبًا ما يكون ملائمًا استخدام وحدات

أصغر باستعمال أي من الإضافتين **ملي** (واحد بالألف) والمرموز له بالحرف (m)، أو **مايكرو** (واحد بالمليون) والمرموز له بالحرف (μ)، ولهذا فإن:

1 جراي = 1000 ملي جراي = 1000000 مايكرو جراي.

1 سيفرت = 1000 ملي سيفرت = 1000000 مايكرو سيفرت.

**مثال 3-2:**

تعرض عامل سيطرة في مفاعل نووي خلال ثلاثة أيام متتالية إلى جرعة من إشعاع جاما كالآتي:

اليوم الأول 95 مايكرو سيفرت.

اليوم الثاني 5 مايكرو سيفرت.

اليوم الثالث 1 ملي سيفرت.

فما الجرعة الكلية له مقدرة بالملي سيفرت عبر الأيام الثلاث؟

| اليوم | الجرعة المكافئة | ملي سيفرت |
|---|---|---|
| 1 | 95 مايكرو سيفرت = $\frac{95}{1000}$ ملي سيفرت | 0.095 |
| 2 | 5 مايكرو سيفرت = $\frac{5}{1000}$ ملي سيفرت | 0.005 |
| 3 | 1 ملي سيفرت = $\frac{1000}{1000}$ ملي سيفرت | 1.000 |

الجرعة الكلية = $\frac{1100}{1000}$ ملي سيفرت = 1.1 ملي سيفرت.

## 3-7 معدل الجرعة:

تعبر الوحدتان جراي وسيفرت عن كمية الإشعاع التي قد يتعرض لها الإنسان عبر أي مدة زمنية، ومن أجل السيطرة على أخطار الإشعاع يصبح من المهم معرفة المعدل الذي تم التعرض فيه للإشعاع. والعلاقة بين الجرعة ومعدل الجرعة والزمن كالآتي:

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

ولهذا، فإذا ما اشتغل رجل في منطقة ما مدة ساعتين، وتعرض لجرعة قدرها 4 ملي سيفرت فإن **معدل الجرعة** 2 ملي سيفرت/ ساعة. وهكذا يتم التعبير عن معدل جرعة الامتصاص بوحدة جراي/ ساعة.

**مثال 3-3:**

اذا ما سمح لرجل التعرض إلى جرعة قدرها 1 ملي سيفرت في الأسبوع، فكم ساعة يمكنه العمل في مكان معدل الجرعة فيه 50 مايكرو سيفرت/ ساعة؟

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

الزمن = 1 ملي سيفرت / (50 مايكروسيفرت/ ساعة)

= 1000 مايكروسيفرت / (50 مايكروسيفرت/ ساعة) = 20 ساعة.

## 3-8 الفيض:

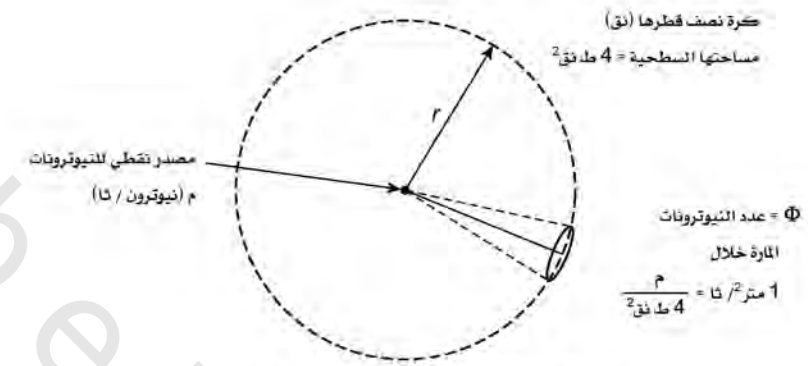
يعبر عن المجال الإشعاعي غالبًا بعدد الجسيمات أو الفوتونات المارة خلال مساحة قدرها متر مربع في ثانية واحدة. ويطلق عليه اسم **معدل التدفق**، ولكن من المعتاد تسميتها **الفيض**، ويرمز إليه ($\phi$).

وتوضح هذه الفكرة جيدًا بالمثال العملي الآتي:

افترض مصدرًا على هيئة نقطة يشع نيوترونات بمعدل م لكل ثانية، (انظر الشكل 3-3) فيكون الفيض على مسافة (نق) هو عدد النيوترونات المارة خلال مساحة قدرها متر مربع في الثانية، ومادامت النيوترونات تشع بانتظام في جميع الاتجاهات، فإن الفيض على بعد (نق) هو عدد النيوترونات المنبعثة في الثانية مقسومًا على المساحة السطحية للكرة ذات نصف قطر (نق)، وهذه المساحة قدرها 4 ط نق$^2$، ولهذا فإن الفيض ($\phi$) يعطى بالمعادلة:

$\phi$ = م \(4 ط نق$^2$) نيترون لكل متر مربع في الثانية

حيث ط هي النسبة الثابتة $\pi$ = 3.14




الشكل (3 - 3) فيض من مصدر نقطي

لاحظ أنه عندما تضاعف (نق)، فإن نق$^2$ تتضاعف أربع مرات، وبهذا يتناقص الفيض إلى الربع، وهذه العلاقة هي **قانون التربيع العكسي** الذي سنتعامل معه بتفصيل أكبر في الفصل الثامن.

**مثال 3-4:**

احسب الفيض على بعد 0.5 متر من مصدر يشع $2 \times 10^7$ نيوترون/ ثانية.

**الحل:**

$$\phi = م/(4 \text{ ط نق}^2)$$

$$= (2 \times 10^7)/(4 \text{ ط} \times 0.5 \times 0.5) = 6.4 \times 10^6 \text{ ن/ (م}^2\text{. ثا)}$$

**مثال 3-5:**

احسب فيض فوتونات جاما على بعد متر واحد من مصدر (كوبالت 60) ذي 0.1 تيرابيكريل (يشع الكوبالت-60 إشعاعيين جاميين في كل تحلل).

**الحل:**

نحن نعلم من الفصل الثاني أن 0.1 تيرابيكريل تساوي $10^{11}$ تحلل/ثانية، ولكنّ للكوبلت 60 ($^{60}Co$) فوتونان من إشعاع جاما، إذن:

م = $2 \times 10^{11}$ فوتون / ثانية.

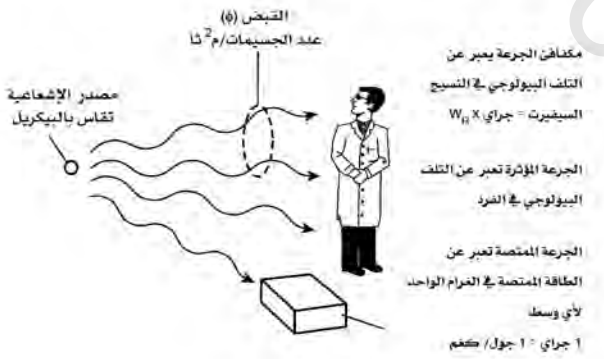
$\phi$ = م/(4 ط نق$^2$) = $2 \times 10^{11}$/(4 ط × (1)$^2$)

= $1.6 \times 10^{10}$ فوتون/(م$^2$.ثا)

## 3ـ9 العلاقة بين الوحدات:

توضح العلاقة بين الوحدات التي عرضت توًّا بالشكل (3 ـ 4). حيث الجراي يصف جرعة الامتصاص لأي وسط، والسيفرت يعبر عن التأثير البيولوجي على الجسم الإنساني. ومن الواضح أن التأثير البيولوجي للإشعاع هو مناط الاهتمام في الفيزياء الصحية، لذا يجب استعمال الجرعة المكافئة أوالجرعة المؤثرة متى كان ذلك ممكنًا.

في الفيزياء الصحية اليومية، يستعمل المصطلح **جرعة** بشكل مهلهل ـ غالبًا ـ ليعني أيًّا من الكميات: **جرعة الامتصاص**، أو **الجرعة المكافئة**. وفي الفصول الآتية، ستستعمل كلمة جرعة، ويراد بها **الجرعة المكافئة** أو **الجرعة المؤثرة** تبعًا للنص.




شكل ( 3- 4 ) العلاقة بين الوحدات

**خلاصة الفصل:**

**الإشعاع:** ينقل الطاقة من المصدر إلى الوسط الماص.

**التأين:** إزالة إلكترون مداري، وإنتاج أزواج أيونية.

**غرفة التأين:** استخدام مجال كهربائي لإحداث تيار من الأيونات.

**جرعة الامتصاص:** ترسب الطاقة في أي وسط من قبل جميع أنواع الأشعة المؤينة،

1جراي = 1 جول/ كغم.

**الجرعة المكافئة:** مقياس للتأثير البيولوجي للإشعاع، ووحدته سيفرت (Sv).

الجرعة المكافئة = جرعة الامتصاص × معامل الإشعاع النوعي.

**معامل الإشعاع النوعي $w_R$:** قياس لقابلية نوع ما من الإشعاع لإحداث تلف بيولوجي يرتبط بكثافة التأين، $w_R$ يساوي: (1) لكل من أشعة بيتا والأشعة السينية وأشعة جاما، (5) للبروتونات والنيوترونات الحرارية، (5-20) للنيوترونات السريعة و(20) لجسيمات ألفا.

**الجرعة المؤثرة:** مؤشر لتأثير الإشعاع على الجسم بكامله حينما تتعرض الأنسجة المختلفة في الجسم لجرع مكافئة متباينة.

**معامل النسيج النوعي $w_T$:** معامل يعكس الحساسية الإشعاعية لنسيج ما أو عضو.

**الجرعة:** وتساوي معدل الجرعة × الزمن.

**الفيض:** مقداره من المصدر النقطي = م / (4 ط نق$^2$).

## أسئلة للمراجعة:

1- ما التأين؟ وكيف يمكن استعماله لقياس الإشعاع؟

2- ما المقصود بـ (**جراي**)؟

3- اشرح لماذا تصبح وحدة **سيفرت** أكثر ملاءمة للاستعمال في الفيزياء الصحية من جراي؟

4- اشرح فكرة **الجرعة المكافئة والجرعة المؤثرة**؟

5- احسب الفيض النيوتروني على بعد 0.3 متر من مصدر نيوترونات يشع $3\times 10^{7}$ نيوترون في الثانية.

6- اشتغل عامل سيطرة في مفاعل نووي مدة أسبوع واحد، حيث أمضى أربع ساعات في مكان فيه معدل الجرعة لكل من جاما والنيوترونات 5 مايكروسيفرت/ ساعة و7 مايكروسيفرت/ ساعة على التوالي، ثم قضى 18 ساعة في مكان فيه معدل الجرعة لإشعاع جاما 2 مايكروسيفرت/ ساعة (من دون إشعاع نيوتروني). احسب جرعته مقدرة بالسيفرت لهذا الأسبوع؟

7- تعرض عامل في سنة واحدة لجرعة خارجية مقدارها 1 ملي سيفرت (على افتراض تعرض متجانس لسائر الجسم). وتعرضت الغدة الدرقية لجرعة مكافئة مقدارها 4 ملي سيفرت نتيجة تناول مادة مشعة، علمًا بإن معامل النسيج النوعي للغدة الدرقية هو 0.05، احسب الجرعة المؤثرة لهذه السنة.

# الفصل الرابع

# التأثيرات الأحيائية للإشعاع

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الرابع
# التأثيرات الأحيائية للإشعاع

## 4 ـ 1 المقدمة:

ينشأ تفاعل الأشعة المؤينة مع جسم الإنسان عن مصدرين: أحدهما **خارجي** عن الجسم والثاني **داخلي** نتيجة تلوث بالمواد المشعة، وكلاهما يقود إلى تأثيرات حيوية (بيولوجية) قد تظهر فيما بعد بوصفها أعراضًا مرضية. وتعتمد طبيعة هذه الأعراض وشدتها والمدة التي تظهر فيها على مقدار الجرعة المتعرض لها، وعلى طول المدة الزمنية لهذا التعرض. وإضافة إلى التأثيرات الجسدية على الشخص المتعرض للإشعاع فإن التلف الحاصل في الخلايا الجنسية والأعضاء التناسلية (المناسل) قد يقود إلى تأثيرات وراثية تظهر في الأجيال اللاحقة.

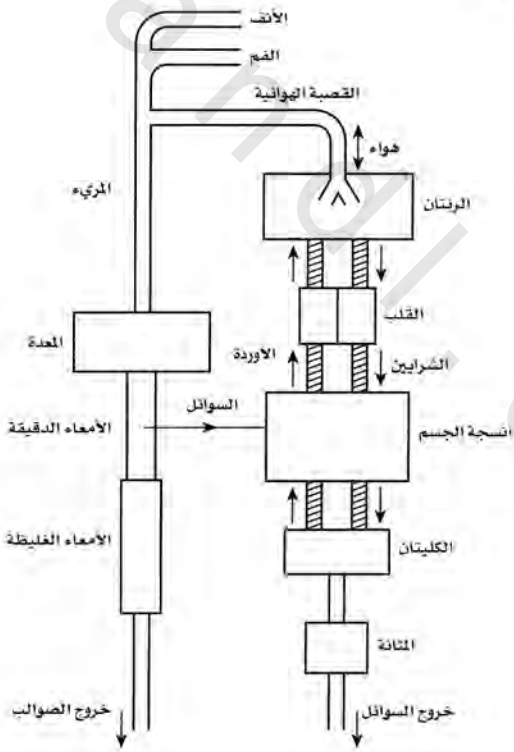
## 4 ـ 2 أساسيات علم وظائف أعضاء جسم الإنسان:

يُعنى علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجيا) بأنشطة الجسم ككل، وبأنشطة أعضاء وأجهزة الجسم المختلفة كلاً على حدة. ومن الضروري معرفة بعض أساسيات الفسيولوجيا لتفهم الطرق التي يمكن أن يتم عن طريقها دخول المواد المشعة إلى الجسم وتوزيعها داخله.

لو فرضنا أن الإنسان ماكينات مكونة من كثير من الأجهزة المترابطة، حيث يقوم كل واحد منها ببعض الأنشطة المهمة، وأن الأجهزة الأكثر علاقة لإدراك ما يحدث للمواد المشعة عند دخولها الجسم هي كل من الجهاز الدموي والتنفسي والهضمي (انظر الشكل 4 – 1).

## 4-2-1 الجهاز الدموي:

الجهاز الدموي عبارة عن دائرة مغلقة من الأنابيب يضخ الدم داخلها بفعل **القلب**، وما الدم إلا آلة النقل في الجسم، حيث يدور في جميع أجزاء الجسم تقريبًا حاملاً معه الغذاء والأكسجين إلى الخلايا، ويعود منها بالفضلات وبثاني أكسيد الكربون الذي ينقلهما إلى أعضاء الطرح. والقلب - في الحقيقة - عبارة عن مضختين: جهته اليسرى تضخ الدم إلى الأنسجة عن طريق **الشرايين**، حيث ينتقل الغذاء من الأنسجة إلى الخلايا بواسطة السائل النسيجي، ثم يعود الدم بعد مروره بالأنسجة إلى الجهة اليمنى من القلب عن طريق **الأوردة**، ثم يضخ الدم بعد ذلك إلى **الرئتين** للتزود بالأكسجين قبل أن يعود إلى جهة القلب اليسرى.




شكل ( 4-1) رسم تخطيطي لوظائف أنسجة الإنسان

يحتوي الدم المار في الشرايين على كثير من الأكسجين ولونه أحمر فاتح، في حين يحتوي الدم العائد من الأنسجة على القليل جدًّا من الأكسجين ولونه أحمر قاني، والجسم يحوي تقريبًا خمسة لترات من الدم الذي يدور بمعدل دورة واحدة في الدقيقة، وفيه ثلاثة أنواع من الخلايا الدموية، يقوم كل نوع منها بوظيفة أساسية، وهي: **الخلايا الحمراء، والخلايا البيضاء، والصفيحات**. فوظيفة الخلايا الحمراء هي القيام بنقل الغذاء والأكسجين الذي يحتاج إليه الجسم، في حين تقوم الخلايا البيضاء بالدفاع ضد الأمراض، وذلك بالتهام الأحياء المجهرية، وتؤدي الصفيحات دورًا حيويًّا في التخثر عند مواقع الجروح.

## 4-2-2 الجهاز التنفسي:

التنفس هو وسيلة لإدخال الأكسجين إلى الرئتين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون. يُمتَصُّ الأكسجين من قبل الدم خلال مروره بالرئتين، وينقله إلى الأنسجة كما ذكر سابقًا، أما الأنسجة فتنتج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يُحمل بدوره بواسطة الدم إلى الرئتين حيث يُطرد في عملية الزفير، بوصفه فضلات. هذا وإن حجم الهواء المستنشق في اليوم هو نحو 20م$^3$، يستنشق نصفه تقريبًا في ساعات العمل اليومية الثمانية.

يستنشق الإنسان في عملية التنفس كثيرًا من الملوثات الهوائية على شكل غازات أو غبار يحمله الهواء، وتمر الغازات بسهولة خلال الرئتين، وتدخل مجرى الدم بدرجات متفاوتة حسب قابلية ذوبانها. أما في حالة المواد الصلبة المستنشقة فيترسب جزء منها فقط في الرئتين، والباقي إما أن يطرد في الزفير أو أن يترسب في الممر العلوي من الجهاز التنفسي ثم يبلع بعد ذلك، وتصرف المواد المترسبة في الرئتين يعتمد على قابلية ذوبانها أيضًا، فالمواد شديدة الذوبان تمتص بسرعة إلى مجرى الدم ـ ربما ـ في غضون ساعات، في حين المواد غير القابلة للذوبان قد تبقى في الرئتين أشهرًا عدّة، ومن هذا يتبين بوضوح أن

الجهاز التنفسي يهيىء طريقًا لدخول المواد المشعة التي يمكن أن تبقى في الرئتين مدة طويلة أو تنقل بعد ذلك بواسطة مجرى الدم إلى أجزاء أخرى من الجسم.

## 4- 2- 3 الجهاز الهضمي:

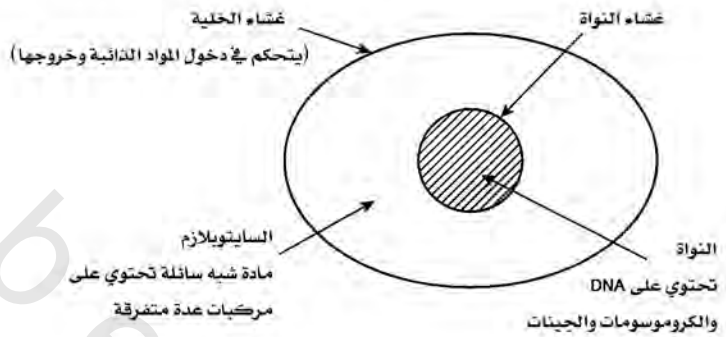
يتكون الجهاز الهضمي من المريء والمعدة والاثنا عشرى، إضافة إلى الأمعاء الدقيقة التي تتصل بالأمعاء الغليظة. والغذاء المتناول عن طريق الفم يتشكل بهيئة مناسبة؛ لتوليد الحرارة والطاقة ولتكوين الجزيئات الضرورية لنمو الأنسجة وإصلاحها.

تتحلل الجزيئات الكبيرة في الغذاء بواسطة الإنزيمات في الممر الهضمي قبل أن تمتص إلى مجرى الدم، وتمر من خلال **الكبد** إلى الأنسجة، ويخرج الغذاء غير الممتص مع البكتيريا والخلايا المنسلخة من جدران الأمعاء على شكل فضلات صلبة (البراز). أما الفضلات السائلة (نتائج فضلات الخلايا مذابة في الماء) فيتخلص منها الجسم عن طريق الكليتين والمثانة على شكل يوريا (البول).

عندما تبلع مواد مشعة قابلة للذوبان بسبب تلوث ما، فقد تمر خلال الممر الهضمي، وتمتص إلى مجرى الدم الذي يحملها إلى جميع أجزاء الجسم، لهذا من الممكن أن تتركز بصورة رئيسة في عضو أو نسيج معين حيث يتعرض للتشعيع حتى تضمحل المادة المشعة أو تخرج من الجسم، أما المواد المشعة غير القابلة للذوبان فتعبر خلال الممر الهضمي، وتخرج مع البراز، وخلال مرورها في الجسم تشعع الممر والأمعاء الغليظة.

## 4-3 أحيائية الخلية:

تتكون جميع الكائنات الحية من تراكيب صغيرة تعرف بالخلايا، والأجزاء الأساسية لكل خلية هي كل من **النواة** والسائل المحيط بها الذي يعرف **بالسيتوبلازم**، **والغشاء** الذي يكون جدار الخلية. والشكل (4-2) يظهر تركيب خلية بشرية مثالية.




شكل ( 4-2 ) رسم تخطيطي لتركيب الخلية البشرية

إن أبسط تصوير للخلية هو أن السيتوبلازم يمثل مصنع الخلية، في حين تحتوي النواة على كل المعلومات التي تحتاج إليها الخلية للقيام بأنشطتها وتكاثرها، فالسيتوبلازم يقوم بتمثيل الغذاء وتحويله إلى طاقة وإلى جزيئات صغيرة، وهذه بدورها تتحول بعد ذلك إلى جزيئات معقدة تحتاج إليها الخلية للصيانة أو للتكاثر.

تحتوي النواة على الصبغيات أو الكروموسومات (حاملات الصفات الوراثية) التي هي عبارة عن تراكيب خيطية صغيرة تحمل الجينات (المورثات). وتحوي الخلية البشرية 46 كروموسومًا، وتتركب المورثات من الحمض النووي الريبي غير المؤكسد (المعروف بـ DNA) de-oxyribonucleic وجزيئات بروتينية. وتقوم المورثات بحمل المعلومات التي تحدد صفات الخلية الوليدة.

وللخلايا القدرة على التكاثر؛ للتعويض عن تلك التي تموت، ونظرًا لتباين أعمار الأنواع المختلفة من الخلايا البشرية، فإن سرعة تكاثر الخلايا تتباين من بضع ساعات حتى سنوات عدة. ويحصل تكاثر الخلايا بطريقين يعرفان **بالانقسام الفتيلي، والانقسام المنصّف**. ففي الخلايا الفتيلية، يشمل التكاثر جميع خلايا الجسم المعتادة وفيها تتضاعف الكروموسومات بالانقسام طوليًّا، ومن ثم تنقسم الخلية الأصلية إلى خليتين جديدتين

كلاهما تشبه الخلية الأم. أما في الانقسام المنصف، فهو نوع خاص من الانقسام يحدث عند تكون الخلايا التناسلية أي الحيمن في الذكر والبويضة في الأنثى، ويحدث هذا الانقسام مرة واحدة في دورة حياة الخلية وفي الخلايا التناسلية فقط. وفي التكاثر الجنسي يتحد الحيمن مع البويضة، وتتحد الكروموسومات لتكوين خلية جديدة تحوي المواد الموروثة من كل من الوالدين، ويتكون الجنين، ومن ثم الذرية من هذه الخلية الوحيدة: البويضة المخصبة.

## 4-4 تفاعل الإشعاع مع الخلايا:

الفرق الأساسي بين الإشعاعات النووية[1] وبقية الإشعاعات التي نواجهها عادة مثل الحرارة والضوء، هو أن الإشعاعات النووية لديها الطاقة الكافية لإحداث تأين، ففي الماء - الذي تتكون منه معظم الخلية - يمكن أن يقود التأين إلى تغيرات جزيئية تنبثق عنها فصائل كيميائية من أنواع متلفة لمادة الكروموسومات. ويأخذ هذا التلف شكل تغيرات في تركيب الخلية ونشاطها، ويمكن أن تظهر هذه التغيرات في الجسم البشري بوصفها آثارًا مَرَضيَّة مثل غثيان الإشعاع، أوإعتام عدسة العين، أو السرطان على المدى البعيد.

والعمليات التي تقود إلى التلف الإشعاعي هي عمليات معقدة وغالبًا ما تتخذ أربع مراحل:

### 1- المرحلة الفيزيائية الابتدائية:

وتستغرق جزءًا ضئيلاً جدًّا من الثانية (نحو $10^{-16}$ ثانية) حيث تترسب الطاقة في الخلية، وتحدث التأين، ويمكن كتابة هذه العملية بالنسبة إلى الماء، كما يلي:

$$H_2O \xrightarrow{\text{إشعاع}} H_2O^+ + e^-$$

حيث $H_2O^+$ هو الأيون الموجب (الهيدرونيوم) و$e^-$ هو الأيون السالب (الإلكترون).

(1) سميت بالإشعاعات النووية نسبة إلى مصدرها: النواة، وهناك إشعاعات ذرية مصدرها إلكترونات النواة، ولها القدرة كذلك على إحداث التأين، مثل الأشعة السينية.

**2- المرحلة الفيزياكيميائية:**

تستغرق نحو $10^{-6}$ ثانية، حيث تتفاعل الأيونات مع جزيئات الماء الأخرى مؤدية إلى عدد من النواتج الجديدة. فمثلاً يتحلل الأيون الموجب إلى:

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

والأيون السالب وهو الإلكترون يرتبط بجزيئة ماء متعادلة، فتتحلل فيما بعد إلى:

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

وبهذا يكون ناتج التفاعل هو $OH, H, OH^-, H^+$. ويوجد الأيونان الأولان بشكل واسع في الماء المعتاد، وليس لهما دور في التفاعلات اللاحقة. أما الناتجان OH, H فيطلق عليهما **الجذور الحرة**: أي إن لديهما إلكترونًا غير مزدوج، ومن ثم فهما شديدا الفعالية.

وهناك ناتج آخر للتفاعل، وهو بيروكسيدات الهيدروجين الذي يعدّ من العوامل شديدة الأكسدة.

$$OH + OH \longrightarrow H_2O_2$$

**3- المرحلة الكيميائية:**

تستغرق بضع ثوانٍ يتم خلالها تفاعل النواتج مع الجزيئات العضوية المهمة في الخلية، وأن الجذور الحرة والعوامل المؤكسدة قد تهاجم الجزيئات المعقدة للكروموسومات، فترتبط نفسها بجزيء ما يؤدي إلى كسر الربط في سلسلة الجزيئات الطويلة.

**4- المرحلة البيولوجية:**

يتباين مقدار الوقت فيها من دقائق إلى عشرات السنين بحسب نوع الأعراض. والتغيرات الكيميائية المناقشة آنفًا يمكنها التأثير على الخلية المفردة بطرق عدة، فمثلاً قد تؤدي إلى:

( أ ) الموت المبكر للخلية، أو منع انقسامها أو تأخيره.

(ب) التغير الدائم الذي ينتقل إلى الخلايا الوليدة.

وتأثيرات الإشعاع على الجسم الإنساني تحصل نتيجة التلف في الخلايا الفردية، ولكن هذين التأثيرين لهما نتائج مختلفة إلى حدٍّ ما. ففي الحالة الأولى يؤدي موت الخلايا أو منع انقسامها إلى استنزاف الخلايا في أعضاء الجسم. وإذا لم تصل الجرعة إلى حد معين (عتبة) فإن نسبة الخلايا التالفة لن تكون كافية للتأثير على وظيفة العضو. أما إذا زادت الجرعة عن العتبة فإن التأثيرات على العضو تبدأ في الظهور، وتزداد هذه التأثيرات مع ازدياد الجرعة. وهذا النوع من التأثيرات يدعى التأثيرات **الحتمية**، بمعنى أن العلاقة بين الجرعة وشدة التأثيرات يمكن تقويمها بدقة مقبولة مع الأخذ في الحسبان مدى الفروق بين الأفراد. أما في الحالة الثانية فإن التغير في خلية واحدة قد يؤدي ـ بعد مدة كمون ـ إلى حدوث السرطان في الشخص المتعرض، أما إذا كان التغير حادثاً في الخلايا التناسلية فإن التلف يمكن أن ينتقل إلى الأجيال القادمة مؤديًا إلى تأثيرات **وراثية**. واحتمال حدوث هذه التأثيرات في تلك الحالات يعتمد على الجرعة. ويطلق على هذا الصنف من التأثيرات "**بالاحتمالية**" ما يعني أن طبيعة هذه التأثيرات احتمالية. ولإيجاز التغيرات التي يحدثها الإشعاع على مستوى الخلايا يمكن القول: إنها قد تقود إلى صنفين مميزين من التأثيرات:

### 1- التأثيرات الحتمية:

هي التي تظهر إذا تعدت الجرعة عتبة معينة، وتزداد شدة هذه التأثيرات مع ازدياد الجرعة. وهذه التأثيرات مفصلة في الباب (4-5).

### 2- التأثيرات الاحتمالية (غير العتبية):

هي التي يزداد احتمال ظهورها مع ازدياد الجرعة. وتشمل هذه التأثيرات حدوث السرطان (انظر الباب 4 - 6) والتأثيرات الوراثية في الأجيال اللاحقة (انظر الباب 4-7).

## 4 ـ 5 التأثيرات الحتمية للإشعاع:

### 4 – 5 – 1 تأثيرات الإشعاع الشديدة:

إن التأثيرات الشديدة للإشعاع هي تلك التي تحدث بعد أسابيع عدة من التعرض الحاد، وهو التعرض لجرعة عالية من الإشعاع خلال مدة قصيرة نسبيًّا. وسبب هذه التأثيرات هو الاستنزاف الكبير للخلايا في عدد من أعضاء الجسم بسبب قتلها أو منع انقسامها وتأخره، وتعزى هذه التأثيرات بشكل رئيس إلى التلف في نخاع العظام والجهاز المعوي والعصبي والعضلي الذي يعتمد على الجرعة المتعرض لها، أما في حالة الجرع الحادة التي تزيد على 1 جراي تقريبًا فتؤدي إلى الغثيان والاستفراغ، وهذا ما يسمى **بغثيان الإشعاع**، ويحدث بعد ساعات عدة من التعرض، وذلك بسبب التلف الذي يصيب خلايا بطانة الأمعاء. أما إذا كانت الجرعة الممتصة تزيد على 2 جراي تقريبًا فقد تؤدي إلى الهلاك بعد نحو مدة تعرض تتراوح ما بين 10 إلى 15 يومًا.

ليس هناك عتبة محددة تمامًا للجرعات الحادة التي يتلاشى فيها خطر الموت (إذا ما قلّت الجرعة عن تلك العتبة)، غير أنه إذا كانت الجرعة أقل من 1.5 جراي تقريبًا فإن احتمال الموت المبكر ضئيل جدًّا وبالمثل، ليس هناك جرعة محددة تمامًا يكون الموت بعدها محتمًا، غير أن احتمال الحياة عند التعرض لجرعة حادة بحدود 8 جراي منخفض جدًّا. ويمكن عمل تقدير مقبول للجرعة القاتلة لـ50 ٪ من المتعرضين في خلال 30 يومًا من التعرض، وهذا ما يسمى $\left[D_{50}^{30}\right]$، ويظن أن مقدارها للإنسان 3 جراي تقريبًا[1].

وفي الجرعات التي تصل 10 جراي تقريبًا يكون سبب الهلاك عادة هو الالتهاب الثانوي بسبب استنفاد خلايا الدم البيضاء التي توفر الحماية ضد الأمراض. إن الجرعات في المدى ما بين 3 إلى 10 جراي، تسمى غالبًا بمجال **الموت بالالتهاب**، حيث يمكن في

(1) هناك تباين واسع في هذه القيمة في المصادر المختلفة، فبعض المصادر تقدر هذه الجرعة بـ 5 جراي.

هذا المدى زيادة احتمال الحياة بالمعالجة الطبية الخاصة التي تشمل عزل المصاب في وسط معقم (خالٍ من التلوث) ونقل نخاع عظم له للتحفيز على إنتاج خلايا الدم البيضاء.

أما بالنسبة للجرعات التي تزيد على 10 جراي، فإن زمن البقاء على قيد الحياة ينخفض بصورة حادة إلى ما بين 3 إلى 5 أيام، وتظل بحدود هذه المدة تقريبًا حتى الجرعات العالية جدًّا، وفي هذه الحالات يؤدي الإشعاع إلى الاستنفاد الشديد لخلايا بطانة الأمعاء يتبعها هجوم شديد للبكتيريا على الجسم، وهذا ما يسمى بمجال **الموت المعوي**.

يقل زمن الحياة بارتفاع الجرعات بصورة مطردة، وهناك القليل جدًّا من المعلومات عن الإنسان عند هذه الحالات، غير أنه من التجارب التي أجريت على الحيوانات أظهر التشخيص بعض التلف في الجهاز العصبي المركزي، ولهذا تسمى هذه المنطقة بمجال **الموت بسبب الجهاز العصبي المركزي**، مع ملاحظة أن الموت لا يحدث مباشرة حتى في الحيوانات التي تعرضت لجرعات تزيد على 500 جراي.

هناك أثر آخر يظهر عند التعرض الحاد للإشعاع ألا وهو مرض **الحمامى** (التهاب الجلد) وهو احمرار في الجلد؛ لأن الجلد يتعرض إلى جرعة إشعاعية أعلى مما تتعرض له بقية الأنسجة، وهذا صحيح بصورة خاصة في حالات إشعاع بيتا والأشعة السينية منخفضة الطاقة، فإن التعرض لنحو 3 جراي من الأشعة السينية منخفضة الطاقة يؤدي إلى الحمامى، والتعرض الأكبر يقود إلى أعراض أخرى مثل التخضب والتبشر والتقرح.

ومستويات التعرض لكل من العاملين في مجالات الإشعاع والمواطنين بسبب التشغيل المعتاد لصناعة الطاقة النووية، أو من التطبيقات الصناعية والطبية للإشعاع، هي أقل بكثير من معدلات الجرعات التي تؤدي إلى تأثيرات مبكرة، فهذه الجرعات العالية يمكن التعرض لها فقط في الحالات غير المحتملة من الحوادث النووية الرئيسة، غير أن الجرع المنخفضة التي يتعرض لها عند التشغيل المعتاد قد تؤدي إلى آثار ضارة على المدى البعيد، وهذه ستناقش فيما بعد.

لقد لوحظ في هذه المناقشة أن التأثيرات المبكرة كانت تقدر بالجرعات الممتصة مقيسة بالجراي بدلاً من قياسها بالجرعة المكافئة بالسيفرت، والأمر في الحقيقة مسألة تعريف: إن معامل الإشعاع النوعي ($W_R$) الذي نوقش في الفصل السابق، ومصطلح مكافئ الجرعة، أُريدَ استخدامها في التعرض الإشعاعي الذي هو بحدود الجرع الاعتيادية المصرح بها (انظر الفصل 6)، وينبغي عدم استخدامها في مستوى الجرعات التي قد تقود إلى التأثيرات المبكرة[1].

### 4 – 5 – 2 التأثيرات الحتمية المتأخرة:

للإشعاع تأثير آخر متأخر قد لا يحصل إلا بعد سنوات عدة وهو تلف عدسة العين. وهذا يأخذ شكل الغمامة في العدسة، أو انعدام الرؤية في الحالات الشديدة نتيجة سد العدسة. وهنا كذلك عتبة لهذا التأثير، فإذا ما وضعت الحدود الإشعاعية لعدسة العين فإنه يمكن منع حدوث هذا التأثير (انظر فصل 6).

هناك بعض الأدلة من التجارب على الحيوان أن التعرض للإشعاع يؤدي إلى نقص قليل في الأعمار المتوقعة للأفراد الذين لا تظهر فيهم أعراض محددة للإشعاع. أما المشاهدات على الناس المتعرضين لجرع مرتفعة نسبيًّا من الإشعاع فإنها تشير إلى أن النقص في الأعمار المتوقعة إما أن يكون معدومًا أو ضئيلاً جدًّا لا يتجاوز سنة واحدة للسيفرت.

## 4-6 التأثيرات الاحتمالية - إحداث السرطان:

لقد أصبح جليًّا منذ أوائل القرن العشرين أن مجاميع من الناس مثل مصوري الأشعة ومرضاهم الذين تعرضوا لمستويات عالية نسبيًّا من الإشعاع قد ظهرت فيهم أنواع من السرطان بنسب أعلى مما هو الحال عند المجاميع التي لم تتعرض للإشعاع. وفي دراسة

(1) يعود السبب في ذلك إلى أن $W_R$ و $W_T$ قيم تقريبية لا يمكن تحديدها بدقة.

تفصيلية حديثة جدًّا لسكان تعرضوا للإشعاع الناتج عن القنابل الذرية، ولمرضى عُرِّضوا للعلاج الإشعاعي، وكذلك لمجاميع تعرضوا للإشعاع في أثناء عملهم وبخاصة عمال مناجم اليورانيوم، ظهرت قدرة الإشعاع على توليد السرطان.

والسرطان هو: تكاثر مفرط للخلايا في أحد أعضاء الجسم، ويُظن أنه يحدث بسبب تلف جهاز التحكم في خلية فردية، فيؤدي بها إلى الانقسام بسرعة أكثر من انقسام الخلية الصحيحة ثم ينتقل هذا الخلل إلى الخلايا الوليدة، وبهذا يزداد تعداد الخلايا الشاذة إلى حد يؤذي الخلايا الصحيحة في نسيج العضو، وتقدير زيادة خطر حدوث السرطان بسبب الإشعاع عملية معقدة نتيجة لطول مدة الكمون، وهي المدة المحصورة ما بين نحو 5 إلى 30 سنة أو أكثر، ولأنه لا يمكن عادة تمييز السرطان المسبب بالإشعاع عن السرطان الذي يحدث فجأة، إن حدوث السرطان في عموم الناس عادةً مرتفع، حيث يقدر أن فردًا من كل ثلاثة يتوقع أن يموت في آخر المطاف بأحد أنواع السرطان، وهذا الارتفاع الأساسي يجعل من العسير إثبات أن حدوث حالات إضافية لأحد أنواع السرطان هو نتيجة لتعرض إضافي للإشعاع، حتى في السكان الذين تعرضوا لمستويات مرتفعة نسبيًّا.

وفي المستويات العالية من التعرض للمجاميع المذكورة آنفًا فإن الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) (انظر فصل 6) قدرت أن تعرض الناس من جميع الأعمار إلى جرعة مقدارها 1 سيفرت لكل فرد سوف تؤدي إلى حدوث السرطان القاتل في 10٪ من الأفراد المتعرضين للإشعاع، وهذا يماثل القول: إن معدل الخطر على الفرد من جرعة مقدارها سيفرت واحد هو واحد بالعشرة أو 0.1، واستقراء خطر التعرض لمستويات منخفضة جدًّا من الإشعاع -كتلك التي تكون في الصناعات النووية وفي غيرها- من تقديرات خطر التعرض للجرعات العالية المذكورة آنفًا تزيد من مقدار الشك، والتقدير المتحفظ جدًّا يكون بعمل استقراء خطي من الجرعات المرتفعة إلى الجرعات المنخفضة،

وحيث إن جرعة 1 سيفرت تحمل خطر حدوث سرطان قاتل مقداره 0.1 فإن خطر 1 ملي سيفرت يكون أقل بـ 1000 مرة أو 0.0001 ولكن استنادًا إلى حسابات رياضية، وتجارب على الحيوانات، وكائنات حية أخرى، ومعلومات محدودة عن الإنسان، فقد استنتجت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) أن الاستقراء الخطي يحتمل أن يزيد في تقدير أخطار التعرض الإشعاعي عند الجرعات ومعدلات الجرعات المنخفضة بمقدار الضعفين إلى عشرة أضعاف، وهذا يدعى **بمعامل تأثير الجرعة ومعدل الجرعة (DDREF)**. وقد أوصت الهيئة الدولية باستخدام معامل الضعفين ليكون الخطأ في صالح السلامة، وهذا يعني أن الخطر الإضافي الناتج عن الإصابة بالسرطان القاتل لعموم الأفراد نتيجة التعرض للجرعات ومعدلات الجرعات المنخفضة يمكن تقديره باستخدام **معامل خطر الجرعة** 0.05/للسيفرت (ويكتب هذا عادة $5\times10^{-2}$ سيفرت$^{-1}$) ويمكن تقدير أي جرعة ما باستخدام هذا المعامل في المعادلة الآتية:

الخطر =الجرعة (سيفرت) × معامل الخطر (سيفرت)$^{-1}$

وبهذا يكون خطر السرطان القاتل لـ 10 ملي سيفرت هو:

الخطر =0.01 سيفرت × 0.05 (سيفرت)$^{-1}$ = $5\times10^{-4}$

إن التعرض للإشعاع يولد، إضافة إلى السرطان القاتل أمراض سرطان غير قاتلة يمكن علاجها، وهذه الأمراض ينبغي أخذها في الحسبان، ولكن بالتأكيد ليس من المناسب إعطاؤها معامل أمراض السرطان القاتلة نفسها، ولأخذ هذا في الحسبان فقد طورت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية مبدأ **الضرر** الذي يأخذ في الحسبان التأثيرات متباينة الأهمية، حتى يمكن جمعها للحصول على مقياس شامل لتأثيرات التعرض الإشعاعي، وقد نوقش هذا الموضوع فيما بعد (4 - 8).

## 4 ـ 7 التأثيرات الاحتمالية الوراثية:

تنتج التأثيرات الوراثية للإشعاع عن تلف في الخلايا التناسلية، إذ يأخذ هذا التلف شكل تغيير يدعى **الطفرات الوراثية** في المادة الوراثية للخلية[1].

وذكر سابقًا أن التكاثر يحدث عند إخصاب البويضة بواسطة الحيمن، ونتيجة لذلك فإن الذرية تحصل على مجموعتين كاملتين من المورثات (الجينات) من كل من الوالدين، وبصورة عامة فإن أحد الجينات يكون متغلبًا والآخر يكون متنحيًا، ويظهر الجين المتغلب الصفة المعينة التي يحملها، أما الجينات المتنحية فيمكن ملاحظتها فقط عندما يجتمع ـ قدرًا ـ اثنان من الجينات المتنحية معًا. وهناك كثير من الأمراض المرتبطة بالجينات، ولهذا فهي لا تظهر إلا عندما يكون كل من الوالدين يحمل الجينات المتنحية نفسها. إن الطفرات الفجائية في الحقيقة لمسؤولة عن النسبة الملموسة من سكان العالم الذين يعانون واحدًا أو أكثر من الخمس مئة عيب أو مرض التي منشؤها التأثيرات الوراثية.

يمكن للإشعاع أن يولد الطفرات الوراثية التي لا يمكن تمييزها عن الطفرات التي تحدث طبيعيًا، ويجب أن يلاحظ أن الحرارة والمواد الكيميائية يمكنها كذلك أن تسبب الطفرات، وجين الطفرة إما أن يكون متغلبًا، وفي هذه الحالة يظهر تأثيره في الجيل الأول من الذرية، أو يكون متنحيًا حيث لا يظهر التأثير في الجيل الأول. إن الجين المتنحي لا يظهر أي تأثير له إلا عند وراثته من كلا الوالدين، ويفترض عمومًا أن كل الطفرات غير مؤذية، وهذا غير صحيح تمامًا، فالإنسان قد وصل إلى هذه المرحلة المتقدمة خلال سلسلة من الطفرات[1]، إلا أن هذا قد حدث خلال حقبة طويلة جدًا من الزمن بحيث كان عدد الطفرات التي يجب التخلص منها في الأجناس خلال تلك الحقبة كبيرًا جدًا.

---

(1) يمكن أن يؤدي الإشعاع كذلك إلى العقم في الذكور والإناث، نتيجة قتل الخلايا التناسلية في المنسلين، وهذه تعدّ من التأثيرات الوراثية للإشعاع.

(2) يبني المؤلفان هذا الكلام على نتيجة الاعتقاد بنظرية (دوفري) في التطور، وهي نظرية ليس لها مستند علمي كبير.

إن الأشعة المؤينة يمكن أن تزيد في معدل حدوث الطفرات؛ لذا فإن استخدامها سيزيد من عدد الشاذين جينيًّا في الأجيال القادمة، ومن الواضح أن التلف الجيني المفرط ستكون له – دون شك – آثار خطيرة جدًّا، ولهذا يجب أخذ الحيطة التامة في تعرض عموم المواطنين للإشعاع.

إن أخطار التأثيرات الوراثية بسبب تعرض العدد التناسلية للإشعاع غير معلوم تمامًا، فقد قدرت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية خطر الإصابة بمرض وراثي خطير في جميع الأجيال بعد تعرض أحد الوالدين لجرعات ومعدلات جرعات منخفضة بنحو $3 \times 10^{-2}$ للسيفرت تقريبًا، وقد أخذ هذا المعدل لجميع السكان. ومن البدهي أن التعرض المؤثر على الصفات الوراثية للذرية هو ذلك التعرض الذي يحدث حتى نهاية المدة المخصبة. وحيث إن معدل عمر الإنجاب نحو 30 سنة، فإن جزءًا محدودًا من الجرعة الإشعاعية التي تتعرض لها عينة سكانية ستكون مضرة جينيًّا؛ لذا فإن معدل الخطر الجيني الكلي في كل الأجيال من الجنسين ولكل الأعمار هو $1.3 \times 10^{-2}$ للسيفرت تقريبًا، وفي السكان حيث التباين في توزيع أعمار العاملين فإن الخطر هو $0.8 \times 10^{-2}$ للسيفرت تقريبًا.

## 4-8 الضرر:

لقد طورت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية مبدأ **الضرر** لغرض التقويم الكمي ولجمع تأثيرات تعرض أعضاء وأنسجة الجسم المختلفة للإشعاع، وهذا يأخذ في الحسبان الأخطار النسبية ومعدل مدة التأخر في ظهور أمراض السرطان القاتل في الأعضاء المختلفة، واعتلال الصحة المتولدة من أمراض السرطان غير القاتلة، وأخذت كذلك في الحسبان أخطار التأثيرات الوراثية الخطيرة في جميع الأجيال القادمة من الشخص المتعرض، والجدول (4-1) يوضح في العمود الأول مشاركات أعضاء الجسم الرئيسة في الضرر، والعمود الثاني يوضح احتمالية الإصابة بالسرطان القاتل لكل عضو نتيجة جرعة مكافئة مقدارها 1 سيفرت، أما العمود الثالث فيبين احتمالية ظهور التأثيرات الوراثية

الشديدة في الأجيال القادمة نتيجة جرعة مكافئة مقدارها 1 سيفرت للأعضاء التناسلية، أما العمود الرابع والأخير فيظهر المشاركة النسبية لكل عضو في الضرر آخذين في الحسبان العوامل المناقشة آنفًا.

وهذه التقديرات للمشاركات النسبية للضرر الكلي من التعرض الإشعاعي يوفر الأساس في تعريف **معاملات الأنسجة النوعية** ($w_T$) التي تستخدم في حساب **الجرعة المؤثرة** حسب المناقشة الواردة في (فصل 3) والموضحة ثانية في (فصل 6).

**جدول (4-1) المشاركة النسبية للأنسجة في الضرر الكلي.**

| العضو أو النسيج | احتمالية السرطان القاتل **$10^{-4}$** سيفرت$^{-1}$ | احتمالية التأثيرات الوراثية الشديدة **$10^{-4}$** سيفرت$^{-1}$ | المشاركة النسبية في الضرر |
|---|---|---|---|
| المثانة | 30 | | 0.040 |
| مخ العظم | 50 | | 0.143 |
| سطح العظم | 5 | | 0.009 |
| الثدي | 20 | | 0.050 |
| القولون | 85 | | 0.141 |
| الكبد | 15 | | 0.022 |
| الرئة | 85 | | 0.111 |
| المريء | 30 | | 0.034 |
| الخصية | 10 | | 0.020 |
| الجلد | 2 | | 0.006 |
| المعدة | 110 | | 0.139 |
| الغدة الدرقية | 8 | | 0.021 |
| البقية | 50 | | 0.081 |
| الأعضاء التناسلية | | 100 | 0.183 |
| **المجموع** | **500** | **100** | **1.00** |

**خلاصة الفصل:**

**علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجي)**: هو علم دراسة وظائف كل من الأعضاء والأجهزة.

**القلب**: يضخ الدم إلى جميع أجزاء الجسم عن طريق الشرايين والأوردة.

**خلايا الدم الحمراء**: تنقل الغذاء والأكسجين.

**خلايا الدم البيضاء**: تدافع عن الجسم ضد الإصابة بالأمراض.

**الصفيحات**: ضرورية لتكوين التخثر.

**التنفس**: الطريقة التي يحدث فيها إدخال الأكسجين إلى الرئتين، ويتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون.

**الجهاز الهضمي**: يحوِّل الغذاء إلى شكل يناسب توليد الحرارة والطاقة وإلى جزيئات ضرورية لنمو الأنسجة وإصلاحها.

**مراحل في عملية التلف الإشعاعي:**

1- المرحلة الفيزيائية الأولية ($10^{-16}$ ثانية) وتشمل تأين وإثارة الذرات والجزيئات.
2- المرحلة الفيزو-كيميائية ($10^{-8} - 10^{-5}$ ثانية) وتشمل انفصال الأيونات وتكوين الجذور الحرة.
3- المرحلة الكيميائية (ثوانٍ عدة) وتشمل تفاعل الجذور الحرة مع الجزيئات الأخرى في الجسم.
4- المرحلة الحياتية (البيولوجية) (دقائق لسنوات) وهي التي تظهر فيها التفاعلات الكيميائية تأثيرات على الخلايا.

**مكونات الخلية**: النواة، والسايتوبلازما، والغلاف الخارجي.

**النواة**: تحوي حاملات الصفات الوراثية (الكروموسومات) وهي تراكيب خيطية مكونة من الجينات.

**الجينات**: تحمل المعلومات التي تحدد صفات الخلايا الوليدة.

**الانقسام الفتيلي**: عملية تكاثر الخلايا المفردة.

**الانقسام المنصف**: مرحلة في تكوين الخلايا التناسلية، وهي الحيمن في الذكر والبويضة في الأنثى.

**تأثيرات الإشعاع على الخلايا**: منع الانقسام الفتيلي، تغيرات في حاملات الصفات الوراثية.

**التأثيرات الحادة**: وهي التأثيرات التي تحدث خلال أسابيع عدة نتيجة التعرض الحاد للإشعاع بسبب استنزاف الخلايا.

**التأثيرات المتأخرة**: هي التأثيرات التي تحدث في أوقات متأخرة وعادة بعد سنوات من التعرض وأهمها مرض السرطان والتأثيرات الوراثية.

**التأثيرات الوراثية**: قد تظهر في ذرية الأفراد المتعرضين للإشعاع.

**التأثيرات الاحتمالية**: يعتمد حدوثها على مقدار الجرعة: السرطان والتأثيرات الوراثية.

**التأثيرات الحتمية**: تعتمد شدتها على الجرعة وأهمها التأثيرات المبكرة للإشعاع، إضافة إلى التأثيرات المتأخرة، مثل إعتام عدسة العين.

## أسئلة المراجعة:

(1) صف كيف يمكن للمواد المشعة أن تترسب في أنسجة الجسم المختلفة؟

(أ) عند التنفس. (ب) عند الهضم.

(2) حدد المراحل الأربع في عملية التلف الإشعاعي؟

(3) ميز بين التأثيرات الحتمية والتأثيرات الوراثية؟

(4) ما التأثيرات الحادة للإشعاع؟ ناقش شدة التأثيرات للجرعات ما بين 1 إلى 10 جراي.

(5) ما التأثيرات المتأخرة الرئيسة للإشعاع، وعلى أي فرضية يعتمد تقدير خطرها؟

# الفصل الخامس

# الإشعاع الطبيعي والمصنع

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الخامس

# الإشعاع الطبيعي والمصنع

## 4 ـ 1 المقدمة:

تعرض الإنسان ـ خلال تاريخه ـ إلى إشعاع بيئته التي يحيا فيها، ويأتي هذا الإشعاع الطبيعي الأساسي من ثلاثة مصادر رئيسة: الإشعاع الكوني، والمصادر الأرضية، والإشعاعية (المواد المشعة) داخل الجسم.

من المستحيل تقرير ما إذا كان الإشعاع الأساسي الطبيعي مضرًّا أو نافعًا لتطور الأنواع البشرية. ولقد وضح من الفصول السابقة أن نسبة صغيرة جدًّا ـ بل محدودة ـ من التغيرات الطبيعية في الخلايا لا بد منها مادامت تسهم في تطور الأشكال المتقدمة من الحياة. وعلى العكس من ذلك، فإن بعض التغيرات الجينية يؤدي إلى عيوب وراثية أو إلى موت جيني. وإنه لمن الواضح أن هذين التأثيرين يحققان بعض مصادر التوازن حيث تطورت الحياة إلى حالتها الراهنة بالرغم من وجود الإشعاع الأساسي، بل ربما بسببه[1].

وإضافة إلى المصادر الطبيعية للإشعاع الأساسي، فقد برز كثير من مصادر الإشعاع المصنَّع منذ اكتشاف الأشعة السينية والنشاط الإشعاعي الطبيعي في نهاية القرن التاسع عشر، وخاصة منذ استغلال عملية الانشطار النووي في منتصف القرن العشرين، حيث تضيف هذه المصادر ـ الآن ـ عبئًا ذا أهمية إلى الإشعاع الكلي الذي يتعرض له السكان.

---

(1) الكلام على عمومه يتضمن بعض الصحة، ولكن المبالغة في الاستشهاد بظواهر محدودة لإثبات قواعد كلية لا تقرها قواعد العلم التجريبي. ومن هذه المبالغات الاستشهاد ببعض ظواهر الطفرات الوراثية في النبات وبعض الظواهر في الحيوان في إثبات نظرية تطور الإنسان من الحيوان (نظرية دوفري) وهو أمر فيه كثير من المجازفة العلمية.

## 2.5 الإشعاع الكوني:

يصل الإشعاع الكوني إلى الأرض من الفضاء الخارجي، ومن الشمس، ويتكون من مدى واسع جدًّا من الأشعة المخترقة التي تحدث أنواعًا متعددة من التفاعلات مع العناصر التي تقابلها في الغلاف الجوي، الذي يعدّ حاجز وقاية (درع) حيث يقلل -بشكل جيد- كمية الإشعاع الكوني الذي يصل إلى الأرض، وعملية الترشيح هذه تؤدي إلى جعل جرعة الإشعاع عند سطح البحر أقل منها في المرتفعات. وعلى سبيل المثال، فإن متوسط معدل الجرعة من الأشعة الكونية على مستوى سطح البحر هو 0.2 ملي سيفرت/ سنة تقريبًا، في حين معدل الجرعة نفسها عند ارتفاع 3000 متر قدره 1 ملي سيفرت/ سنة، ومتوسط معدل الجرعة ذاتها في الجزر البريطانية بسبب الإشعاع الكوني نحو 0.33 ملي سيفرت/ سنة.

تظهر إحدى النويدات المشعة المهمة جدًّا عند تفاعل النيوترونات في الإشعاع الكوني مع نيتروجين طبقات الجو العليا ألا وهي الكربون-14، التي تتكون كالآتي:

$$^{14}N(n,p)^{14}C$$

إن هذا الكربون ـ الذي عمر نصفه 5568 سنة ـ ينتشر إلى طبقات الجو السفلى، وقد يندمج مع المواد الحية. وهناك ـ كذلك ـ تركيزات قليلة لبعض النويدات، مثل التريتيوم $^{3}H$ (عمر نصفه 12.26سنة) والكلورين $^{36}Cl$ (عمر نصفه $3.08 \times 10^{5}$ سنة) والكالسيوم $^{41}Ca$ (عمر نصفه $1.1 \times 10^{5}$ سنة)، وتحتفظ بتركيزها في الأجواء السفلى بسبب تفاعلات الإشعاع الكوني، وهي أقل أهمية من $^{14}C$.

## 3.5 إشعاع المصادر الأرضية:

تحتوي الصخور والتربة الموجودة في طبقات الأرض على كميات صغيرة من العناصر المشعة، مثل: اليورانيوم، والثوريوم، ونتاج ولائدهما، ويتغير تركيز هذه العناصر إلى حد

كبير تبعاً لنوع الصخور. ففي مناطق الصخور الرملية والجيرية يكون التركيز أقل منه في مناطق الجرانيت، ولهذا فإن معدل الجرعة من هذه المصادر يعتمد على الموقع الجغرافي، فمتوسط الجرعة المؤثرة في الجزر البريطانية بسبب أشعة جاما من هذا المصدر نحو 0.35 ملي سيفرت/ سنة، وفي بعض المناطق يزداد معدل الجرعة عدة أضعاف هذه القيمة.

أما العناصر ذات أعمار النصف الطويلة، مثل $^{48}Ca$ ( عمر نصفه أكبر من $7 \times 10^{8}$ سنة) و$^{50}V$ (عمر نصفه $4 \times 10^{14}$ سنة) توجد طبيعيًّا، ولكن بتراكيز قليلة جدًّا، ولا تسهم كثيرًا بالجرعة التي يتعرض لها الإنسان.

## 4.5 المواد المشعة الموجودة طبيعيًّا:

إن وجود الإشعاعية في الصخور والتربة يعني كذلك أن معظم المواد الطبيعية مشعة قليلاً، والتعرض لإشعاعها عادة جد يسير، غير أن هناك مواد يمكن أن تؤدي إلى تعرض ملحوظ، إما لكونها تحتوي على مستويات أعلى من الإشعاعية الطبيعية، أو لكونها معالجة أو مستخدمة، بحيث تزيد من التعرض الإشعاعي، وهذه المواد هي التي تعرف بالمواد المشعة الموجودة طبيعيًّا (نورم NORM). عند معالجة بعض المواد يمكن أن يزداد تركيز الإشعاعية في بعض نواتج المعالجة مؤديًا إلى تعرض العاملين في مصنع المعالجة، وفي أحيانٍ أخرى يمكن أن تحتوي نواتج المعالجة مثل المنتجات الاستهلاكية أو مواد البناء على مستويات مرتفعة من النشاط الإشعاعي مؤدية إلى زيادة التعرض الإشعاعي لعموم الناس.

ففي صناعة الزيت والغاز يمكن للراديوم الموجود طبيعيًّا وولائده أن يتراكم داخل الأنابيب وفي الحاويات على شكل تكلسات، وعملية إزالة هذه التكلسات تؤدي إلى تعرضات إشعاعية مهنية، والمخلفات الناتجة تحوي الراديوم. وفي صهر خام الحديد يحدث تركيز مرتفع للرصاص ـ 210 والبولونيوم ـ 210 في الغبار والمخلفات. وفي تطبيقات أخرى لصهر المعدن تستخدم أنواع معينة من الرمال المعدنية تحوي اليورانيوم والثوريوم الطبيعيين يمكن أن تؤدي إلى تعرض إشعاعي مباشر من تعزيز التراكيز في خبث سبائك

المعادن. ومن المواد التي تحوي مستويات من اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم التي يمكن أن يكون لها تأثير إشعاعي ملحوظ هي صخور الفوسفات، وهذه تستخدم عادة بوصفها مخصبًا زراعيًّا، وإن الجص المنتج في عملية الفوسفات يستخدم في مواد البناء بشكل واسع.

إن مسؤولية المستثمرين الذين يستخرجون أو يعالجون أو يستخدمون المواد المشعة طبيعيًّا (نورم) أن يثبتوا ما إذا كانت جرعة (النورم) يمكن أن يكون لها تأثير إشعاعي ملحوظ، وأين يمكن إدخال الاحتياطات الكافية، بحيث يكون التعرض الإشعاعي أقل ما يمكن عمليًّا، ويتم ذلك بعمل المسوحات المناسبة والتقويمات.

## 5.5 الإشعاعية في الجسم:

إن هضم النظائر الطبيعية المشعة واستنشاقها يؤدي إلى جرعة تتفاوت بشكل كبير تبعًا للمنطقة والغذاء وعادات الأشخاص، ويشارك البوتاسيوم - 40 ونويدات سلسلتي اليورانيوم والثوريوم بالجزء الأوفر من هذه الجرعة وإن هناك مشاركة جزئية من الكربون- 14 الذي ينشأ من تفاعل الأشعة الكونية مع الكربون والنيتروجين والأكسجين المستقرة في الجو.

تأتي المساهمة المهمة للإشعاعية (مواد مشعة) داخل الجسم من ولائد الاضمحلال الغازية للنشاط الإشعاعي لسلاسل كل من اليورانيوم والثوريوم، وهي الرادون والثورون. وهذه الغازات توجد في الصخور والأتربة ثم تتركز بمقدار يمكن قياسه في الجو بسهولة، ويكون تركيزها في الهواء الطلق منخفضًا؛ لهذا تكون مساهمتها الإشعاعية منخفضة تبعًا لذلك، ولكن يمكن أن تحدث تركزات عالية داخل المباني نتيجة تخلل الغازات من مواد البناء أو من الأرض ومحدودية التهوية، وتعمد ولائد الرادون والثورون بالالتصاق بذرات الغبار العالقة في الهواء وعندما تستنشق تؤدي إلى تعرض إشعاعي وخاصة للرئتين.

إن معدل الجرعة السنوية لأفراد الشعب في المملكة المتحدة نتيجة هذا المصدر تقدر بـ 1.3 ملي سيفرت/ سنة، ولكن أظهرت دراسات حديثة أن معدل الجرعة في بعض المساكن يمكن أن تصل حتى 100 ضعف هذا المعدل، ولهذا هناك برامج في عدد من الدول لتحديد ومعالجة المساكن وأماكن العمل ذات التراكيز المرتفعة[1].

إن المعالجة تكمن في تقليل تخلل الغازات بغلق الجدران والأرضيات وبزيادة التهوية.

إن النظائر الطبيعية المشعة تؤخذ كذلك من قبل النباتات والحيوانات ما يجعل معظم المواد الغذائية حاوية كميات محسوسة من الإشعاعية الطبيعية. ومن المواد الغذائية الطبيعية التي تحوي تراكيز مرتفعة من النظائر المشعة الحبوب، في حين يحوي الحليب والفاكهة والخضراوات تراكيز منخفضة. إن امتصاص هذه النظائر المشعة يتفاوت بشكل كبير مع نوع التغذية وكذلك الموقع. إن معدل الجرعة في المملكة المتحدة من هذا المصدر هو تقريبًا 0.25 ملي سيفرت/ سنة.

## 6.5 تلخيص الجرعات الناتجة عن الإشعاع الطبيعي:

يعطي الجدول (5-1) قائمة بالجرعة المثالية للغدة التناسلية المسببة عن الإشعاع الطبيعي في الجزر البريطانية.

**جدول (5-1) جرعة الغدة التناسلية السنوية المثالية بسبب الإشعاع الطبيعي.**

| المصدر | الجرعة (ملي سيفرت/ سنة) |
|---|---|
| إشعاع جاما الموضعي. | 0.35 |
| الرادون والثورون ومنتجات الاضمحلال. | 1.30 |
| الإشعاع الكوني. | 0.33 |
| هضم المواد المشعة طبيعيًّا. | 0.25 |
| **المجموع** | **2.20** |

(1) لقد أجرينا مسوحات إشعاعية لغاز الرادون في المساكن في كثير من مدن المملكة، وذلك في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، ونشرت نتائجها، حيث يقدر معدل جرعتها 0.70 ملي سيفرت/ سنة.

إن إشعاع جاما الموضعي قادم من سلاسل $^{238}U$ و$^{232}Th$، وكذلك من $^{40}K$، وفي بعض مناطق العالم يكون أعلى مما هو مذكور في الجدول، ففي مناطق المونازايت في الهند والبرازيل ـ على سبيل المثال ـ قد تكون الجرع السنوية لكل الجسم والناتجة عن إشعاع جاما الموضعي بمقدار نحو 0.12 سيفرت/ سنة.

## 7.5 المصادر المصنعة للإشعاع:

تضمنت أوائل الممارسات لمصادر الإشعاع المصنع استخدام الأشعة السينية، واستعمالات مختلفة للراديوم. ففي أوائل 1896م ظهرت رسالة في مجلة الطبيعة (Nature) تصف تأثيرات تعرض الأيدي المتكرر للأشعة السينية، وظهرت حالات أكثر خلال الخمس عشرة سنة اللاحقة. وقد ظهرت هذه الحالات بسبب تجارب الأشعة السينية أو من استعمالاتها في علاجات متنوعة. ومع عام 1911م كان هيس[1] قد درس تاريخ 94 حالة ورم قد نشأت في الإنسان بسبب الأشعة السينية، فكان بينها 50 حالة في الإشعاعيين أنفسهم.

لقد بينت الدراسات السابقة أن الأنواع الأولى من التلف قد نتجت عن الأشعة السينية، ولكنها لم تعطِ مؤشرًا عن التأثيرات بعيدة المدى، ففي بعض حالات التلف ـ كسرطان الجلد ـ قد تحصل مدة كمون تتراوح ما بين 10- 30 سنة، بل شاهد بعض الإشعاعيين تغيرات الجلد الخبيثة بعد مدة 25 سنة من انقطاعهم عن الفحوص التلاصفية (المتفلورة). وحتى عام 1922م قدر أن أكثر من مئة إشعاعي ماتوا بسبب السرطان المتولد بالإشعاع[2]، وكذلك ظهر أن معدل الوفيات بسبب اللوكيميا (سرطان الدم)[3] كان بين أطباء الأشعة نحو تسعة أضعافه ما بين بقية الأطباء.

---

(1) Hesse : (فكتور هيس) عالم نمساوي ولد عام 1883م منح جائزة نوبل عام 1936م لاكتشافه الأشعة الكونية.

(2) أي السرطان الحاصل عند الناس المتعرضين لمزيد من الإشعاع بسبب عملهم المهني.

(3) سرطان الدم أو اللوكيميا هو السرطان الذي يحصل في كريات الدم البيضاء.

لقد أظهرت دراسات أخرى أن معدل متوسط العمر للرواد الإشعاعيين انخفض بمعدل سنتين أو ثلاث مقارنة بالأطباء العموميين. وبواسطة استخدام نتائج التجارب على الحيوانات لكشف العلاقة بين قصر الحياة وكمية التشعيع قدر أن الجرعة الكلية التي تعرض لها عموم الإشعاعيين ما بين 1935م – 1958م هي عدة جراي، ولقد استعملت نتائج هذه الدراسات من قبل الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) لاستنباط معامل خطر الإشعاع على أعضاء الجسم وأنسجته (انظر الفصل السادس).

أوضحت الممارسة ـ في أوائل القرن العشرين ـ تأثير الجرعة الداخلية لنويدات متعددة مثل الراديوم ($^{226}Ra$)، عمر النصف 1622سنة)، والميزوثوريوم ($^{228}Ra$)، عمر النصف له 5.8 سنة)، والراديوثوريوم ($^{228}Th$)، عمر النصف له 1.91 سنة) ونتاج ولائدهم كذلك. وحتى قبل هذا الوقت، تم تمييز حالات كثيرة -إلى حد ما- لسرطان الرئة بين عمال التعدين في مناجم شنيبرج (Schneeberg) للكوبالت في ساكسونيا[1] وفي مناجم جوكامستال (Joachimsthal) لأوكسيد اليورانيوم (Pitchblende)[2] في بوهيميا[3] ، وتبين في آخر الأمر أن هذا المعدل المرتفع لسرطان الرئة كان بسبب الإشعاع من نتائج ولائد اليورانيوم مثل $^{226}Ra$ و$^{222}Rn$ و$^{218}Po$ ...إلخ، إذ تحتوي هذه المناجم على تركيز عالٍ من اليورانيوم.

ظهرت خلال العقدين الثاني والثالث من القرن العشرين حالات عدة للتعرض ـ فوق المعتاد ـ للراديوم، وتبين أن عددًا كبيرًا منها كان من جراء استخدام الراديوم بوصفه وسيلة للعلاج، حيث قدم لعلاج أنواع كثيرة من الأمراض تراوحت ما بين التهاب المفاصل وحتى الجنون.

(1) ساكسونيا: منطقة تتبع حاليًا شرق ألمانيا.

(2) معدن أسود لامع ينتج الراديوم.

(3) بوهيميا: تعرف الآن بجمهورية التشيك.

والتعرض فوق المعتاد للراديوم حصل في صناعة طلاء وجوه الساعات بالراديوم في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث كان أكثر العاملين فيها من النساء اللواتي اعتدن ترقيق أطراف فرش الصباغة بشفاههن، وربما هضمت إحداهن عشرة أو حتى مئة مايكروكوري من الراديوم، ولم يعرف بدقة عدد اللائي توفين في الواقع من صباغات التدريجات بالراديوم بسبب تأثيرات التلف الإشعاعي. إن دراسة الناس الذين تعرضوا للأشعة السينية أو الراديوم مستمرة من أجل تحسين تقويم درجة الخطورة الناتجة من التعرض الحاد والمزمن للإشعاع.

## 5 ـ 8 المصادر الحالية للإشعاع المصنع:

إضافة إلى الإشعاع الأساسي الطبيعي الموجود منذ الأزل، هناك مصادر عدة أخرى يتعرض البشر لإشعاعها قد ظهرت خلال المئة سنة الأخيرة أو أقل. وهذه المصادر هي: الطب الإشعاعي التشخيصي، والطب الإشعاعي العلاجي، واستعمال النظائر المشعة في الطب[1]، والمخلفات الإشعاعية، والغبار الذري (السَّقْط) الصادر عن تجارب الأسلحة النووية، وكذلك التعرض المهني للإشعاع.

### 5-8-1 الطب الإشعاعي التشخيصي:

لقد قدر أن ما يزيد على 90٪ من التعرض الكلي للسكان هو بسبب الاستعمالات الطبية للإشعاع تأتي من استخدام الأشعة السينية لأغراض التشخيص، وأكثر مناطق الجسم أهمية في هذا المجال نخاع العظام والغدة التناسلية والأجنة. فنخاع العظام هو موطن الخلايا الأولية لتكوين الدم، ويمكن أن يؤدي تشعيع هذه المنطقة إلى توليد سرطان

(1) يدعى هذا الفرع بالطب النووي.

الدم (اللوكيميا)، أما تشعيع الغدد التناسلية فهو خطر لاحتمالية التلف الجيني، ولا بد أن يكون تشعيع النساء الحوامل متحكمًا به جدًّا لتقليص تشوه بدني أو عقلي في الأطفال.

### 5-8-2 الطب الإشعاعي العلاجي:

يقل معدل جرعة السكان الناتجة عن الطب الإشعاعي العلاجي عنها في حالة الطب الإشعاعي التشخيصي، فبالرغم من التعرض الإشعاعي الكبير الذي ربما يستعمل لعلاجات معينة، ولكن عدد الناس الذين يواجهونه أقل بكثير.

### 5-8-3 استعمال النظائر المشعة:

تستعمل النظائر المشعة في الطب بوصفها وسائل تتبع مسار وموقع مواد كيميائية محددة في الجسم. ومادامت النظائر المشعة متماثلة كيميائيًّا مع النظائر المستقرة للعنصر نفسه، فهذا يعني أنها تتبع المسار نفسه، وتتركز بالدرجة نفسها كمثيلاتها من النظائر غير المشعة في الجسم. وعليه، يمكن وباستخدام كواشف مناسبة، معرفة سلوك نظير العنصر المشع، ومن ثم الاعتيادي غير المشع من العنصر. ويمكن استخدام النظائر المشعة للأغراض العلاجية باستخدام إشعاعية ذات تراكيز مرتفعة كثيراً (انظر الفصل 13).

### 5-8-4 المخلفات الإشعاعية:

أدت زيادة استعمال النظائر المشعة، وعلى وجه الخصوص تطور صناعة الطاقة النووية، إلى إنتاج كمية من المخلفات الإشعاعية تتزايد باستمرار. ويؤدى الطرح المستمر للمستويات الواطئة للمخلفات الإشعاعية في البيئة إلى زيادة تعرض عدد من السكان إلى هذه المصادر. ولهذا السبب، فهناك سيطرة جد صارمة لاحتواء طرح المخلفات الإشعاعية في البيئة (انظر الفصل 11)، وفى الوقت الحاضر، فإن مساهمة المخلفات الإشعاعية بالتعرض الكلي للسكان قليلة جدًّا، تقدر بنحو 1 مايكرو سيفرت/ سنة.

### 5-8-5 السقط الذري الجوي:

في العقدين الذين أعقبا الحرب العالمية الثانية أجرت دول عدة تجارب على الأسلحة النووية في الجو، فدخلت معظم الإشعاعية المتولدة نتيجة هذه التفجيرات طبقة التروبوسفير على ارتفاع 10- 20 كم، (فوق سطح البحر) وتوزعت حول العالم بواسطة التدوير الجوي، وتساقطت تدريجيًّا من الجو إلى سطح الأرض مدة سنوات، وهذا أدى إلى تعرض إشعاعي للسكان نتيجة تلوث المحاصيل الزراعية بشكل رئيس.

إن النويدات ذات الشأن في السقط المشع الناتج عن تجارب الأسلحة النووية مشابه لتلك الناتجة من عمليات محطات الطاقة النووية. وأهم نويدتين هما السترونتيوم-90 ($^{90}Sr$)، عمر النصف 28.8 سنة) والسيزيوم-137 ($^{137}Cs$)، عمر النصف 30 سنة). يتركز السترونتيوم-90 في الجمجمة، في حين يتوزع السيزيوم-137 بانتظام خلال الجسم.

ومع أن تجارب التفجيرات الجوية قد توقفت بشكل كبير في الستينيات من القرن العشرين، لكن لا يزال يقاس آثار من النظائر المشعة بعد 40 عامًا، وذلك نتيجة لطول أعمار أنصافها نسبيًّا.

والمصدر الآخر للسقط الجوي هو نتيجة الإشعاعية إلى البيئة نتيجة الحوادث النووية، وأكثرها كان بسبب حادث تشرنوبل في أوكرانيا عام 1986م. هذا الحادث وحوادث أخرى تمت مناقشتها في الفصل 16.

### 5-8-6 التعرض المهني:

تعد الجرعة التي يتعرض لها الإنسان بسبب العمل في مجال الطب أو الصناعة أو البحث صغيرة جدًّا، عندما تؤخذ لعموم السكان، وتقدر في المملكة المتحدة (بريطانيا) بنحو 6 مايكروسيفرت/ سنة، ونصيب عمال الطاقة الذرية منها نحو 40٪، والباقي بسبب استعمال الإشعاع في الطب بشكل رئيس.

## 5-9 خلاصة مصادر الإشعاع الحالية:

يبين الجدول (5-2) معدل جرعة الغدة التناسلية التي يتعرض لها أفراد المجتمع في المملكة المتحدة بسبب المصادر الحالية للإشعاع المصنع.

**جدول (5-2) معدل الجرعات بسبب الإشعاع المصنع في المملكة المتحدة**

| المصدر | الجرعة (ملي سيفرت/ سنة) |
|---|---|
| الطب الإشعاعي التشخيصي | 0.38 |
| الطب الإشعاعي العلاجي | 0.03 |
| المخلفات الإشعاعية | 0.001 |
| الغبار الذري للأسلحة النووية (السقط الذري) | 0.06 |
| الأشخاص المتعرضون بسبب العمل | 0.006 |
| مصادر أخرى | 0.005 |
| **المجموع** | **0.42 (تقريبًا)** |

## خلاصة الفصل:

### مصادر الإشعاع الأساسي:

- الإشعاع الكوني: ينتج من الشمس ومن فضاء النجوم، ويوفر الغلاف الجوي حاجزًا لها.
- الإشعاع من اليورانيوم والثوريوم مع نواتج ولائدهما، في القشرة الأرضية.
- المواد المشعة الموجودة طبيعيًّا "نورم": مواد تحتوي تراكيز معززة من الإشعاعية الطبيعية، التي قد تحتاج إلى إجراءات وقائية.
- الإشعاعية في الجسم: بصورة رئيسة: اليورانيوم والثوريوم وولائدهما، والبوتاسيوم-40.

### مصادر الإشعاع المصنع:

- الاستخدام الطبي للإشعاع والنظائر المشعة لأغراض التشخيص والعلاج، الإشعاعية في البيئة الناتجة من تفريغ المخلفات المشعة، ومن السقط الذري نتيجة الأسلحة والحوادث النووية.
- التعرض المهني من المفاعلات النووية والتطبيقات الصناعية.

## أسئلة للمراجعة:

(1) نظم جدولاً بالمصادر الرئيسة للإشعاع الأساسي الطبيعي، وناقش كيف تتغير هذه المصادر مع: ( أ ) الارتفاع. (ب) الموقع الجغرافي.

(2) ناقش مصدر غاز الرادون في الهواء، واشرح كيفية تأثيراته.

(3) احسب معدل الجرعة التي يتعرض لها عموم الناس (من الإشعاع الأساسي) في المملكة المتحدة خلال السنوات الثلاثين الأولى من حياتهم.

(4) اشرح الفرق بين كل من الطب الإشعاعي التشخيصي والعلاجي، ثم علق عن مساهمة كل منهما بمعدل الجرعة التي يتعرض لها أفراد المجتمع.

# الفصل السادس

# نظام الحماية الإشعاعية

obeikandl.com

obeikandl.com

## الفصل السادس

## نظام الحماية الإشعاعية

### 1.6 دور الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية:

انبثقت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) عن المؤتمر الدولي الثاني لعلم الإشعاع (ICR) عام 1928م، وصارت - منذ ولادتها - إحدى الهيئات العالمية المعترف بها المسؤولة عن التوصية بمعايير السلامة للحماية الإشعاعية. ولا بد من التأكد أن توصيات الهيئة ليست لها أي قوة قانونية، ولكن معظم القوانين الوطنية المتعلقة بالتعرض للإشعاع معتمدة على توصياتها.

انصبت أوائل توصيات الهيئة على الاهتمام بالحماية من الأشعة السينية والراديوم، واهتمت بعض التوصيات المبكرة بطول الوقت الذي يجب أن يلتزم به العاملون في الحقل الإشعاعي، وكانت:

أ- لا يتجاوز العمل 7 ساعات في اليوم.

ب- لا يتجاوز العمل 5 أيام في الأسبوع.

جـ- لا تقل العطلة عن شهر في السنة.

د- قضاء العطلة -قدر الإمكان- يتم في الخلاء.

وعرفت الجرعة القصوى المباحة - في التوصيات - بشكل مهلهل جدًّا.

لقد طورت الهيئة عام 1950م نظرتها من أجل التعامل مع جملة مشكلات جديدة ناتجة عن اكتشاف وتحري الانشطار النووي وولادة الصناعة النووية، ومنذ ذلك الحين

كان هناك مراجعات لأسس الحماية الإشعاعية والحدود الإشعاعية الموصى بها من قبل الهيئة، والجدول (6-1) يوضح تاريخ تطور الحدود الإشعاعية للعاملين.

أدت جميع هذه التغيرات إلى تقليل حدود التعرض المهني، ولم يكن هذا التناقص المستمر في أقصى مستويات التعرض المسموح بها نتيجة دليل إيجابي في إصابة أشخاص عملوا ضمن مستويات التعرض المسموح بها سابقًا، بل كان ناتجًا عن زيادة الوعي بعدم الدقة في كثير من المعلومات التجريبية المتوافرة، لهذا فإن هناك حاجة للحذر في وضع الحدود الإشعاعية.

في أوائل توصيات الهيئة، دخل تعبير "**جرعة السماح**" ليصف المستوى المقبول من التعرض للإشعاع، ويحمل هذا التعبير دلالة مضللة، حيث يوحي بوجود حد للجرعة لا تحصل إصابة إشعاعية دونه، بينما ـ وفق البراهين المتزايدة ـ ما من إثبات على وجود جرعة حدية (عتبية) لأنواع معينة من الإصابة الجسدية. ونتيجة لهذا، فقد استبدل التعبير "**جرعة السماح**" بالمصطلح "**الجرعة القصوى المباحة**" التي استبدلت فيما بعد **بحد الجرعة**. ولكن التطور المهم كان في تغير التأكيد على العمل لحد جرعة إلى التأكيد أن جميع التعرضات ينبغي أن تكون أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل مقبول وبحدود جرعة.

## جدول (6-1): تاريخ الحدود الإشعاعية للعاملين

| معدل الجرعة | تاريخ التوصية | تعليقات |
|---|---|---|
| 0.1 من جرعة الحمامى في السنة (الحمامى: مرض جلدي) | 1925 م | اقترح من قبل أ. متشيلر و ر. م. سيفرت، وهذا يعادل التعرض لنحو 30 رونتجن/ سنة من أشعة سينية ذات 100 كيلو فولت، أو 70 رونتجن/ سنة من أشعة سينية ذات 200 كيلو فولت. |
| 0.2 رونتجن/ يوم أو1 رونتجن/ أسبوع عمل. | 1934 م | توصية الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية. |
| 150 ملي سيفرت/ سنة أو تقريبًا 3 ملي سيفرت/ أسبوع. | 1950م | توصية الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية. |
| 50 ملي سيفرت/ سنة أو تقريباً 1 ملي سيفرت/ أسبوع. | 1956م | توصية الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية. |
| جميع التعرضات يجب أن تقلل إلى أدنى حد معقول يمكن إنجازه. حد مكافئ الجرعة 50 ملي سيفرت في السنة. | 1977م | توصية الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية. |
| حد 20 ملي سيفرت/ سنة للجرعة المؤثرة. | 1991م | توصية الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية، مسموح أخذ المعدل لخمس سنوات بشرط ألا يتعرض الشخص لجرعة تزيد على 50 ملي سيفرت في أي سنة. |

وعام 1991م نشرت الهيئة (ICRP) نشرتها رقم 60، تحوي توصيات جديدة أساسية ضمن نظام عام للحماية الإشعاعية.

ففي حين كانت التوصيات السابقة مناسبة لظروف التشغيل الاعتيادية فإن النظام الجديد للحماية الإشعاعية يعترف بالحاجة لنوعين من الحالات:

1- الحالات التي يكون هناك احتمال - ولكن غير مؤكد - للتعرض، كما في الحوادث أو في طرح المخلفات المشعة.
2- الحالات التي يكون فيها المصدر والتعرض موجودين على كل حال أو ألا يكونا تحت التحكم.

وقد أخذت التوصيات في الحسبان، كذلك الأدلة الوبائية الحديثة، وخاصة المعلومات المستمدة من إعادة تقويم الدراسات اليابانية[1].

وعام 2003م بدأت الهيئة مدة استشارات مكثفة ترمي إلى الخروج بمجموعة من التوصيات الجديدة لاستبدال نسخة 1991م. وأي تغيرات تنتج من التوصيات الجديدة ستأخذ بعض السنوات حتى يتم تطبيقها في التشريعات والأنظمة الوطنية.

## 2-6 توصيات الهيئة ICRP لعام 1991 (النشرة 60):

عرفت النشرة 60 **الممارسة** بأنها تلك الأنشطة التي تؤدي إلى تعرض إشعاعي **إضافي**، ومصطلح **التدخلات**، وهي التي **تطرح** من التعرض الإشعاعي.

ووضع نظام الحماية الإشعاعية بالنسبة **إلى الممارسة** على أساس المبادئ العامة الآتية:

1- لا ينبغي تبني أي مزاولة تشتمل على تعرض إشعاعي، مالم تؤدِّ إلى فوائد راجحة للأشخاص المتعرضين أو للمجتمع تبرر التأثيرات الضارة للإشعاع **(تبرير الممارسة)**.

(1) نتيجة إلقاء القنبلتين النوويتين على مدينتي هيروشيما وناجاكي.

2- بالنسبة إلى أي مصدر مشع في أي ممارسة، ينبغي أن تكون جرعات الأفراد، وعددهم، والتعرض المحتمل، أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل معقول، مع الأخذ في الحسبان العوامل الاقتصادية والاجتماعية. وينبغي أن يخضع هذا الإجراء أو الجرعة أو الخطر **لقيود** تحدد عدم الإنصاف الذي يحتمل أن يقع نتيجة القرارات الاقتصادية أو الاجتماعية (**الحماية المثلى**).

3- ينبغي أن تخضع تعرضات الأفراد من مجموع الممارسات إلى حدود الجرعة أو الخطر (**تحديد الجرعة والخطر**).

إن مبدأ القيود على الجرعة أو الخطر يرمي إلى التأكد من عدم تعدي الحدود نتيجة التعرض لكثير من المصادر. إن القيود متعلقة بالأفراد، ولكنها تنطبق على المصدر الواحد أيضًا. فمثلاً إذا كان ممكنًا أن يتعرض أفراد من المجتمع لمصادر عدة مختلفة فإن القيود التي ينبغي تطبيقها لكل مصدر للتأكد من أن التعرض الكلي لأي فرد لا تتجاوز حد الجرعة العام.

وقد بني نظام الحماية **للتدخل** على القواعد العامة الآتية:

1- ينبغي أن تكون الفوائد من التدخل راجحة على المضار.

2- بالنسبة إلى قياس مدة التدخل، ينبغي أن تكون الفائدة الخالصة أكبر ما يمكن الحصول عليه بشكل معقول.

مثال على التدخل: افترض موقع لوث من قبل مشغلين صناعيين سابقين، ربما قبل عقود عدة، عندما لم يكن هناك معايير مطبقة لما يطلقه الموقع، وقد استخدمت لأغراض أخرى. إن قرار تنظيف الموقع يمثل تدخلاً، والغرض منه تقليل مستويات التعرض لمن يستخدمون الموقع في المستقبل، وفي قرار تنظيف الموقع ينبغي تبيين أن التعرض الناتج من عملية التنظيف (وتشمل التخلص من المواد المشعة من الموقع) لا تزيد على ما قد يحدث في المستقبل إذا لم يتم تنظيف الموقع.

لقد تضمنت النشرة 60 على مختصر ومراجعة للمعلومات حول التأثيرات الإحيائية (البيولوجية) للإشعاع المؤين، وعلى أساس هذه المراجعة وضعت تقديرات كمية حول عواقب التعرض الإشعاعي، كما هو مناقش في الفصل الرابع. فوضعت تقديرات لكلا التأثيرين (غير العتبي) **الاحتمالي، والحتمي** (الذي كان يعرف في السابق بالتأثير العتبي). وللإعادة:

**التأثيرات الاحتمالية:**

هذه التأثيرات هي تلك التي تكون فيها احتمالية الأثر الناتج، بدلاً من شدته، دالة لجرعة الإشعاع دونما حد فاصل (عتبة)، وأهم هذه التأثيرات الجسدية الاحتمالية هو نشوء السرطان الذي لا بد أن تزداد أخطاره تصاعديًّا تبعًا لزيادة الجرعة المتعرض لها دون حد فاصل. وبالمثل، ففي مستويات الجرعات في مجال الحماية الإشعاعية تصبح التأثرات الجينية من النوع الاحتمالي.

**التأثيرات الحتمية:**

هي تلك التأثيرات التي تتغير فيها شدة التأثير مع مقدار الجرعة، التي قد يوجد فيها حد فاصل (عتبة). ومن أمثلة الإصابات العتبية سد العدسة[1] وتلف الأوعية الدموية، وإتلاف الخصب أي "قدرة الإنجاب". إن خطورة هذه التأثيرات تتغير تبعًا لحجم جرعة الإشعاع المتعرض لها، ولكنها لا تكتشف بالمرة مالم تتجاوز الجرعة عتبه كبيرة جدًّا.

إن هدف الحماية الإشعاعية – كما نصت عليه الهيئة – هو منع التأثيرات الحتمية المؤذية، وتقليص احتمالية حصول التأثيرات الاحتمالية (غير العتبية) حتى الحدود التي تعدّ مقبولة.

(1) سد العدسة (Cataract) مرض إعتام عدسة العين، وهو محور عن الاسم العربي ( العين الكدرة).

ينجز الهدف المذكور بما يلي:

(أ) وضع حدود مكافئ الجرعة في مستويات متدنية كافية لضمان عدم وصولها إلى جرعة العتبة، حتى لو تعرض الأفراد للإشعاع طوال حياتهم، أي **"منع التأثيرات الحتمية"**.

(ب) الإبقاء على التعرضات المتعلقة إلى أقل حد يمكن إنجازها بشكل مقبول، آخذين في الحسبان العوامل الاقتصادية والاجتماعية وتتبع الظروف المحيطة، حتى لا يتجاوز مكافئ الجرعة حدوده الملائمة **"تحديد التأثيرات غير العتبية، الاحتمالية**.

لقد اعتبرت الهيئة في نشرتها 60 ثلاثة مستويات من التعرض الإشعاعي أو الأخطار بحسب درجة تحملها وقبولها. وهذه المستويات هي: غير المقبولة والمتحملة (التي يمكن تحملها) والمقبولة. إن الحد يمثل: منطقة مختارة بين المستويين غير المقبول والمتحمل. والمتحمل يعني: أن التعرض (أو الخطر) غير مرغوب فيه، ولكن يمكن تحمله بشكل مقبول، والمقبول يعني: أن مستوى الحماية قد عمل إلى حد مستواه الأمثل، ويمكن قبوله دون تحسينات إضافية. لهذا فإن الحدود الإشعاعية تمثل المستوى الذي يكون فيه التعرض المستمر في أول مستوى المتحمل.

## 3.6 حدود الجرعة الموصى بها للعاملين:

من أجل الحد من التأثيرات الاحتمالية (غير العتبية) أوصت الهيئة بحد للجرعة المؤثرة للتعرض المتجانس لسائر الجسم مقداره 20 ملي سيفرت معدلاً لخمس سنوات، ويسمح لتعرض يزيد على 20 ملي سيفرت في أي سنة شريطة ألا تزيد الجرعة في أي سنة على 50 ملي سيفرت. أما بالنسبة إلى التشعيع غير المنتظم للجسم، فقد تم تعيين معاملات الأنسجة النوعية لأعضاء الجسم المختلفة بناء على اتخاذ المعامل للجسم ككل يساوي (1.0)، حيث تعكس هذه المعاملات قابلية الضرر عند تشعيع كل عضو.

إن مجموع الجرعات النوعية للأعضاء تعرف بالجرعة المؤثرة E وبهذا فإن:

$$E = \Sigma_T w_T H_T$$

حيث يمثل ($w_T$) معامل النسيج النوعي للنسيج (T) و($H_T$) الجرعة المكافئة للنسيج (T).

إن حد الجرعة المؤثرة السنوي هو 20 ملي سيفرت . ولهذا يكون لأي سنة:

$$\Sigma_T \ w_T \ H_T \leq 20 \ mSv$$

ومعاملات الأنسجة النوعية معطاة في الجدول (6-2).

جدول (6-2): معاملات الأنسجة النوعية

| النسيج | $w_T$ (1) |
|---|---|
| الغدد التناسلية (المنسلين) | 0.20 |
| نخاع العظم الأحمر | 0.12 |
| القولون | 0.12 |
| الرئة | 0.12 |
| المعدة | 0.12 |
| المثانة | 0.05 |
| الثدي | 0.05 |
| الكبد | 0.05 |
| المريء | 0.05 |
| الغدة الدرقية | 0.05 |
| الجلد | 0.01 |
| سطوح العظم | 0.01 |
| البقية | 0.05 |

(1) القيم في هذا الجدول مأخوذة بوصفها معدلاً للسكان من جميع الأعمار لكلا الجنسين، ويمكن تطبيقها على العاملين وأفراد المجتمع على حد سواء.



obeikandl.com

إن استخدام حد سنوي للجرعة المؤثرة مقداره 20 ملي سيفرت يتضمن كذلك أنه إذا كان التعرض الإشعاعي منحصرًا في نسيج واحد فقط هو T فإن حد الجرعة المكافئة لهذا النسيج يكون:

حد الجرعة للنسيج (T) = $w_T/20$ ملي سيفرت

ففي حالة الرئة مثلاً: قيمة $w_T$ هي 0.12 وهذا يتضمن أن الحد السنوي للجرعة المكافئة للرئة هو 170 ملي سيفرت تقريبًا، وبالمثل فإن قيمة $w_T$ للغدة الدرقية هي 0.05 ولهذا يكون الحد السنوي للجرعة المكافئة للغدة الدرقية هو 400 ملي سيفرت. إن حدود الجرعة للتأثيرات الاحتمالية لمعظم أنسجة الجسم وأعضائه هي أقل من الجرعة العتبية التي تبدأ عندها التأثيرات العتبية في الظهور (وهي غالبًا تبلغ نحو 500 ملي سيفرت، علمًا أن هناك عددًا قليلاً من الأنسجة لها حساسية أكبر للإشعاع). لهذا فإن القيود على الجرعة المؤثرة تكفي لضمان الحماية من التأثيرات الحتمية في جميع الأنسجة والأعضاء تقريبًا، ويستثنى من ذلك الجلد والأيدي والأقدام، حيث حددت الجرعة المكافئة الموصى بها 500 ملي سيفرت في السنة، وكذا عدسة العين الحد الموصى به لها هو 150 ملي سيفرت في السنة.

**مثال 1-6:**

احسب الجرعة المكافئة المسموح بها للغدة الدرقية في السنة لعامل يتعرض إلى تشعيع غير منتظم يتضمن كل الجسم والرئة وكذلك الغدة الدرقية، ولقد تعرض خلال سنة إلى جرعات مكافئة مقدارها 10 ملي سيفرت لجميع الجسم، و50 ملي سيفرت للرئة.

**الحل:**

باستخدام معادلة معامل النسيج النوعي:

$$\Sigma_T \; w_T \, H_T \leq 20 \text{ mSv}$$

(وباستعمال الكتابة العربية مع الإبقاء على الرموز تصبح):

$w_T$ (لكل الجسم) × $H_T$ (لكل الجسم) + $w_T$ (الرئة) × $H_T$ (الرئة) + $w_T$ (الدرقية) × $H_T$ (الدرقية) = 20 ملي سيفرت.

أي إن: 1 × 10 ملي سيفرت + 0.12 × 50 ملي سيفرت + 0.05 × $H_T$ (الدرقية)= 20 ملي سيفرت.

أي إن: 10 ملي سيفرت + 6 ملي سيفرت + 0.05 $H_T$ (الدرقية) = 20 ملي سيفرت.

16 ملي سيفرت + 0.05 $H_T$ (الدرقية) = 20 ملي سيفرت.

0.05 $H_T$ (الدرقية) = (20 – 16) ملي سيفرت.

$H_T$ (الدرقية) = (20 – 16)/0.05 = 80 ملي سيفرت.

ولهذا، فيسمح للعامل بأن يتعرض إلى جرعة مكافئة حتى 80 ملي سيفرت للغدة الدرقية خلال السنة المذكورة.

**مثال 2-6:**

باستعمال معاملات الأنسجة النوعية المذكورة في الجدول (6-2)، احسب الحدود الضمنية لكل من الأعضاء الآتية، مع افتراض أن كل عضو يتشعع بالتمام في معزل: الغدد التناسلية، الغدة الدرقية.

**الحل:**

بالنسبة إلى الغدد التناسلية $w_T$ = 0.20 ولهذا فإن:

الحد السنوي الضمني = 20/0.20 = 100 ملي سيفرت.

بالنسبة إلى الغدة الدرقية $w_T$ = 0.05 ولهذا فإن:

الحد السنوي الضمني = 20/0.05 = 400 ملي سيفرت.

## 4.6 ملاحظات على حدود الجرعة للعاملين:

عند تطبيق نظام تحديد الجرعة المذكور، يجب الالتزام بالنقاط الآتية:

1- ينبغي تجنب أي تعرض لا لزوم له.

2- إن من السهل إيجاد معدل الجرعة لخمس سنوات، وينبغي ألا تزيد الجرعة في أي سنة على 50 ملي سيفرت.

3- تضع الهيئة انطباعًا معقولاً عن حقيقة أن عددًا قليلاً فقط من العاملين يتوقع أن يتعرضوا إلى جرعات سنوية تقارب الحدود الموصى بها. ولقد أظهرت الممارسة في مصانع عدة أن توزيع الجرع غالبًا ما يؤدي إلى تعرض العامل إلى جرعة سنوية لكل الجسم مقدارها نحو 2 ملي سيفرت، وباستعمال معاملات الخطر المأخوذة من النشرة الستين يفهم ضمنًا أن معدل خطر الموت في مثل هذه المهن الإشعاعية مماثلة لمعدل خطر الصناعات الأخرى التي يفترض فيها عادة أنها "أمينة".

4- إن أساس التحكم في التعرض المهني للنساء هو الأساس نفسه للرجال، ما عدا في حالة الحمل، فقد وضع حد إضافي لسطح البطن مقداره 2 ملي سيفرت لبقية مدة الحمل.

5- ينبغي تصنيف أماكن العمل إلى ما يلي:

**منطقة متحكم فيها**: حيث ينبغي على العاملين فيها أن يتبعوا إجراءات محددة تمامًا خلال ظروف العمل الاعتيادية.

**منطقة مراقبة**: حيث لا تطلب إجراءات خاصة في العادة، ولكن الممارسات تبقى تحت المراجعة.

## 6-5 حدود الجرعة الموصى بها لأفراد المجتمع:

في النشرة 60 للهيئة ICRP، تمت التوصية بحد سنوي للجرعة المؤثرة مقداره 1 ملي سيفرت لأفراد المجتمع، ولكنهم أوصوا كذلك أنه في ظروف خاصة يمكن السماح بجرعة مؤثرة سنوية أكبر شريطة ألا يزيد المعدل خلال 5 سنوات على 1 ملي سيفرت في السنة. ومن أجل منع التأثيرات الحتمية، أوصت الهيئة بحد للجرعة مقداره 15 ملي سيفرت في السنة لعدسة العين، و50 ملي سيفرت في السنة للجلد. (جدول 6-3).

## 6-6 التعرضات الشاذة عند الطوارئ والحوادث:

ربما يتعرض المتطوعون - في حالة الطوارئ - إلى جرع عالية من أجل إنقاذ حياة، أو منع الإصابة الخطرة، أو حتى لمنع الزيادة الكبيرة في حجم الحادث. إنه لمن الصعب تعيين حدود لتغطية مثل هذا الحادث مادام كل موقف متميزًا بذاته. وعلى أي حال، فقد يتعرض بعض المتطوعين إلى زيادة فوق الحدود الواردة في التعرض الخاص السابق الإعداد، وبالأخص عندما يتضمن الأمر إنقاذ حياة، وعندما يستوجب الأمر القيام بعمليات إنقاذ، فقد لا يغدو بالإمكان العمل بحدود الجرعة، ولكن يجب أن يقيَّم كل موقف بواسطة رجل مؤهل أو عدد من الرجال المؤهلين ثم يتخذ القرار على أساس هذا التقييم.

من الواضح عمومًا أنه ما من حد عملي للجرعة يمكن اتخاذه عند التعرض للحوادث. لذا قررت الهيئة ICRP عدم إمكانية التوصية بمستويات تدخل تناسب كل الظروف.

من أجل تقليل تعرض العاملين وعموم الناس للإشعاع على أثر تسرب المواد المشعة بسبب حادث ما، يصبح مهمًّا إعداد خطة طوارئ محكمة جيدًا ومفصلة بحيث تنجز ثلاثة أهداف:

(أ) تحديد التعرضات إلى أقصى حد معقول عمليًّا، وعلى الأخص، محاولة منع التعرض لما فوق حدود الجرعة المكافئة.

(ب) استعادة السيطرة على الموقف.

(جـ) الحصول على معلومات لتحديد الأسباب وعواقب الحادث.

## جدول (6-3): حدود الجرع الموصى بها[1]

| | حدود الجرعة | |
|---|---|---|
| | للعاملين | للمجتمع |
| الجرعة المؤثرة | 20 ملي سيفرت في السنة، يؤخذ المعدل لخمس سنوات محددة[2] | 1 ملي سيفرت في السنة[3] |
| الجرعة السنوية المكافئة[4]: | | |
| لعدسة العين | 150 ملي سيفرت | 15 ملي سيفرت |
| للجلد | 500 ملي سيفرت | 50 ملي سيفرت |
| للأيدي والأرجل | 500 ملي سيفرت | 50 ملي سيفرت |

لقد اعتبرت الهيئة ICRP أنه يمكن التحكم في التعرضات المهنية لفريق الطوارئ خلال إجراءات المعالجة بالتحكم في التشغيل. وفي الحوادث الشديدة يمكن تخفيف التحكم شريطة ألا تزيد التعرضات على 0.5 سيفرت تقريبًا (أو 5 سيفرت للجلد) إلا في إجراءات إنقاذ الحياة.

من الجدير بالذكر أن الجرعة حتى 1 سيفرت لكل الجسم مقبولة من أجل إنقاذ حياة. أما إذا كانت العملية سوف تؤدي إلى جرعات تزيد على هذا المستوى، فإن كلاً

(1) إن الحدود تنطبق على مجموع الجرعات من التعرض الخارجي في المدة المحددة وعلى الجرعة المودعة خلال الـ50 سنة (حتى عمر 70 سنة للأطفال) من دخول نويدات مشعة إلى الجسم خلال المدة نفسها.

(2) إن الجرعة المؤثرة ينبغي أن لا تزيد على 50 ملي سيفرت في أي سنة واحدة.

(3) يمكن السماح بجرعة مؤثرة أكبر في السنة في ظروف خاصة شريطة أن يكون المعدل خلال خمس سنوات لا يزيد على 1 ملي سيفرت بالسنة.

(4) إن التأثيرات الاحتمالية لبقية الأعضاء هي المحددة للجرعات، وبهذا يكون التحكم في الجرعات لهذه الأعضاء مستقيً من الحدود المفروضة على الجرعة المؤثرة.

من الأخطار والنتائج المحتملة للعملية يجب موازنتها بدقة شديدة. وإن أحد الاعتبارات المهمة التي يجب مراعاتها هي أولاً: دقة المعلومات التي تخص معدلات الجرعة المتوقعة في منطقة الحادث، والثاني: حالة المصابين ورجحان إنقاذهم. فمثلاً، إذا كان تقدير معدل الجرعة يقل إلى النصف –عما هو في الواقع– فقد يتعرض المنقذ – عن غير قصد – إلى جرعة عالية تكفي لحصول تأثيرات جسدية شديدة مبكرة.

أما ما يخص تعرض أفراد المجتمع إثر حادث ما، فترى الهيئة أنه ليس بالإمكان عمومًا تثبيت مستويات تدخل عملية قابلة للتطبيق بحيث يكون التدخل من قبل الجهات المختصة مطلوبًا فوق هذه المستويات، فكل الإجراءات المضادة التي يمكن اتخاذها لتقليل تعرض أفراد المجتمع للإشعاع ـ بعد تسرب المواد المشعة بحادث ما ـ من مثل الاحتماء بالملاجئ وأخذ أقراص الأيودين المستقر والإخلاء يحمل معه بعض الضرر للعاملين فيه، لذا فإن تقرير اتخاذ إجراءات مضادة (أي عمل تدخل) يجب أن يوضع على أساس الموازنة بين الضرر الذي يتحملونه، وبين تقليل الإشعاع الذي يرغبون ـ على الأرجح ـ في إنجازه.

وعلى أي حال، فقد قررت الهيئة أنه من الممكن وضع مستويات أدنى من التدخل الذي يفترض أنه مما لا يمكن تبريره عمومًا. وبعض مستويات التدخل وما يشتق عنها يجب أن تحتوي على خطة طوارئ ينبغي لها أن تقدم إرشادًا في مختلف الظروف المتاحة.

إنه لمن المؤكد، أن خطة الطوارئ يجب أن تكون مرنة بشكل مناسب كي تسمح بالتكيف حسب حالة الحادث الواقعية. وعلى الأخص، يجب ألا تطبق مستويات الإشعاع بشكل آلي، بل يجب أن يعاد التقييم الملائم على ضوء المعلومات المتوافرة عند التدخل.

## خلاصة الفصل:

**الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية ICRP:** هيئة علمية معترف بها دوليًا مسؤولة عن التوصية بأنظمة الحماية الإشعاعية.

**التأثيرات الاحتمالية (غير العتبية):** هي تلك التي فيها احتمالية التأثير ـ بدلاً من شدته ـ تعدّ دالة للجرعة دون حد فاصل (عتبة) مثل نشوء السرطان والتأثيرات الجينية.

**التأثيرات الحتمية (العتبية):** هي تلك التي تكون فيها شدة التأثير متناسبةً مع الجرعة، وفيها قد يوجد حد فاصل (عتبة)، مثل إعتام عدسة العين أو السد وتلف الأوعية الدموية وإتلاف الخصب.

**هدف توصيات الهيئة الدولية:** منع التأثيرات العتبية الضارة، وتحديد احتمالية التأثيرات غير العتبية عند المستويات المقبولة.

**حد الجرعة للتأثيرات العتبية (الحتمية):** 0.5 سيفرت في السنة للجلد والأيدي والأقدام، 0.15 سيفرت لعدسة العين.

**حد الجرعة للتأثيرات الاحتمالية (غير العتبية):** 20 ملي سيفرت في السنة لكل الجسم بالنسبة إلى التشعيع المنتظم، وللأعضاء على انفراد تنطبق المعادلة:

$$\Sigma_T \; W_T H_T \leq 20 \text{ mSv}$$

مع استخدام معاملات الأنسجة النوعية ($w_T$) الملائمة للأعضاء.

**منطقة متحكم فيها:** حيث ينبغي على العاملين فيها أن يتبعوا إجراءات محددة تمامًا.

**منطقة مراقبة:** حيث لا يتطلب عادة إجراءات خاصة، ولكن ينبغي أن يبقى الوضع تحت المراجعة.

**حدود الجرعات لأفراد المجتمع**: معدل الجرعات المؤثرة السنوية مدى الحياة محددة بـ 1 ملي سيفرت، وهناك حد سنوي مقداره 5 ملي سيفرت لبعض السنوات، شريطة ألا يتجاوز معدل الجرعة السنوية مدى الحياة.

**تعرضات الطوارئ:**

( أ ) محاولة منع التعرض لأكثر من حدود الجرعات.

(ب) في الحوادث الخطيرة، يمكن تخفيف التحكم، ولكن لا ينبغي أن يزيد التعرض على 0.5 سيفرت (أو 5 سيفرت للجلد).

(جـ) إنقاذ الحياة قد يكون مبررًا للسماح بجرعة حتى 1 سيفرت تقريبًا.

( د ) مستويات التدخل من أجل تقليل تعرض الناس.

## أسئلة للمراجعة:

(1) اشرح المظاهر الأساسية لنظام تحديد الجرعة الموصى بها من قبل الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع في نشرتها الستين.

(2) اشرح ماذا يعني المصطلحان: تأثيرات احتمالية (غير عتبية)، وتأثيرات حتمية (عتبية)، وأعطِ مثالين لكل نوع من التأثيرين.

(3) أعطِ الحد العتبي السنوي للعاملين لكل من: عدسة العين، الأيدي والأرجل.

(4) وضح كيف ترتبط جرعات تعرض أعضاء مختلفة من الجسم للتشعيع غير المنتظم مع حد الجرعة لكل الجسم للتشعيع المنتظم.

(5) يتطلب شغل عامل في منطقة فيها طبيعة تشعيع غير منتظم، أن يتعرض الجسم بأكمله ونخاع العظم الأحمر والرئة، وقد تعرض خلال سنة واحدة إلى الجرعات المكافئة الآتية:

- كل الجسم 10 ملي سيفرت.
- الرئة 100 ملي سيفرت.
- نخاع العظم الأحمر 150 ملي سيفرت.

احسب الجرعة المؤثرة المودعة.

(6) عود على بدء، افرض أن الأعضاء الآتية للعاملين تتعرض للتشعيع بمعزل خلال سنة كاملة، فاحسب حد الجرعة السنوي لكل عضو بمعادلة معامل الموازنة:

الثدي، نخاع العظم الأحمر، الرئة، الغدة الدرقية.

(7) اذكر الاختلافات الرئيسة بين المنطقة المتحكم فيها والمنطقة المراقبة.

(8) وضح الاعتبارات الرئيسة التي ينبغي تطبيقها في تعرض العاملين وأفراد المجتمع في الحوادث والطوارئ. لماذا يسمح أحيانًا في الحوادث للعاملين بتعرضات إشعاعية تزيد على حدود التعرضات المسموح بها خلال العمل المعتاد؟

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل السابع

# كشف الإشعاع وقياساته

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل السابع
# كشف الإشعاع وقياساته

## 1.7 قواعد عامة:

إنّ عدم قدرة الجسم البشري على الإحساس بالأشعة المؤينة ـ ربما ـ كان المسؤول عن كثير من الخشية العامة من هذا النوع من الأخطار؛ لذا وجب الاعتماد على أجهزة الكشف المبنية على التأثيرات الكيميائية والفيزيائية للإشعاع، ومنها:

(أ) تأين الغازات.

(ب) التأين والإثارة في صوالب معينة.

(ج) التغيرات في الأنظمة الكيميائية.

(د) التنشيط الإشعاعي بالنيوترونات.

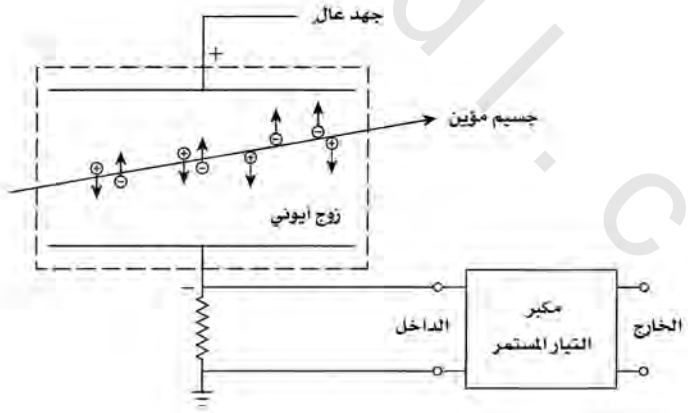
تستخدم الكواشف المبنية على أساس تأين الغاز في غالبية أجهزة المراقبة في الفيزياء الصحية، وتبدي بعض أنواع المواد الصلبة البلورية زيادة في التوصيل الكهربائي، وتسهم في قابلية الإثارة، ومن ضمنها **التلألؤ والوميض الحراري والأثر الفوتوغرافي**. تتوافر أجهزة الكشف التي تعتمد على تغيرات كيميائية يمكن قياسها، ولكنها أقل حساسية، أما الطريقة المستعملة للنيوترون فإنها تعتمد على التنشيط الإشعاعي الناتج عن تفاعلاته.

ستوصف – في هذا الفصل– القواعد الأساسية للأجهزة الشائع استعمالها عمليًّا في الفيزياء الصحية. أما تطبيقات هذه القواعد على أنواع محددة من القياسات فسوف تغطى في كل من الفصول: الثامن والتاسع والرابع عشر.

## 2.7 تأين الغاز:

### 7-2-1 غرفة التأين:

باسترجاع ما ورد في الفصل الثالث نعلم أن امتصاص الإشعاع في الغاز يؤدي إلى إنتاج أزواج أيونية تتكون من أيون سالب (الإلكترون) وأيون موجب، وعند تسليط فرق جهد متوسط بين لوحين (قطبين) متقاربين تنجذب الأيونات السالبة نحو القطب الموجب (الأنود)، والأيونات الموجبة نحو القطب السالب (الكاثود). وهذا السيل من الأيونات يشكل تيارًا كهربائيًّا يعدّ مقياسًا لكثافة الإشعاع في حيز الغاز، ولأن التيار منخفض إلى حد كبير (نحو $10^{-12}$ أمبير عادةً) فتستعمل دائرة إلكترونية حساسة يطلق عليها "مكبر التيار المستمر" لقياسه. ويسمى الجهاز بأكمله "غرفة التأين"، وما التيار المقاس إلا معدل قيمة تفاعلات جسيمات عدة مشحونة أو فوتونات (شكل7-1).

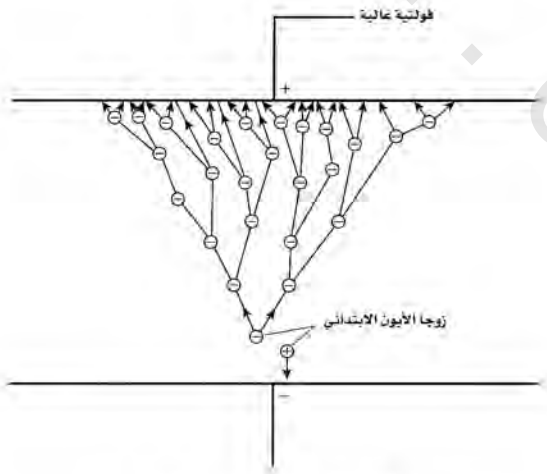



شكل ( 7-1 ) جهاز غرفة التأين.

يعتمد تصميم الغرفة واختيار الغاز الذي يملؤها على غرض الاستعمال، ففي أجهزة الفيزياء الصحية تملأ الغرفة عادة بالهواء، وتبنى من مادة ذات عدد ذري منخفض. أما إذا كان الجهاز معدًّا لأجل قياس إشعاع بيتا ذات المدى القصير جدًّا في الصوالب، فيجب أن تحتوي الغرفة على جدران أو نافذة رقيقة.

### 7-2-2 العداد التناسبي:

إذا ما ازداد فرق الجهد المسلط قرب نقطة ما -في جهاز غرفة تأين- فسوف تحصل ظاهرة يطلق عليها "تضاعف الغاز" ويحصل هذا بسبب أن الإلكترونات الناتجة عن التأين تتعجل إلى طاقة عالية بواسطة الجهد المسلط تمكنها من إحداث تأينات أخرى بنفسها قبل وصولها إلى الأنود، ما ينتج عنها مراحل عدة من التأين (شكل 7-2)، ولهذا فإن كلاًّ من الجسيم المتأين الواحد أو الفوتون، يمكن أن يؤدي إلى نبضة كهربائية تكون كبيرة إلى حد يمكن كشفها، وعند تجاوز مدى معين من فرق الجهد يصبح حجم النبضة متناسبًا مع كمية الطاقة المترسبة بواسطة الجسيمات الأصلية أو الفوتونات، ويطلق على هذا الجهاز "**العداد التناسبي**".




شكل (7-2) تضاعف الغاز

المصطلح **"عداد"** يعنى أن الخارج من الجهاز عبارة عن سلسلة من النبضات التي يمكن عدها بوسائل مناسبة بدلاً عن معدل التيار الذي يتم الحصول عليه في غرفة التأين.

### 7-2-3 عداد جايجر – مويلر:

إذا ما ارتفع فرق الجهد في جهاز التأين بشكل أكبر، فإن تضاعف الغاز سيصبح كبيرًا جدًّا إلى حد يجعل الجسيم المتأين الواحد يسبب تأينًا هائلاً يؤدي إلى نبضات جد كبيرة من التيار. يبقى حجم النبضة نفسه بغض النظر عن كمية الطاقة المترسبة من قبل الجسيم أو الفوتون في بادئ الأمر، ويجري التحكم فيها بواسطة الدائرة الخارجية أكثر من العداد نفسه. يستعمل جايجر ـ مويلر بشكل واسع في تجهيزات المراقبة؛ لمتانة تركيبه، ويمكن تشغيله باستخدام دوائر خارجية بسيطة نسبيًّا. ومن ناحية أخرى فهذا جهاز عد، ولكن من الممكن في بعض الحالات استعمال عداد جايجر ـ مويلر في دائرة لقياس معدل التيار المار خلال الأنبوب.

لأجل الأغراض العملية، يصنع كل من العداد التناسبي وعداد جايجر ـ مويلر على شكل أسطوانة تكون بنفسها بمنزلة المهبط (الكاثود)، وتحتوي على سلك دقيق في الوسط يمثل المصعد (الأنود)، والجميع محاط بأنبوب زجاجي أو معدني مملوء بخليط غازي خاص.

## 7-3 كاشفات الحالة الصلبة:

### 7-3-1 طبيعة العمل (المكننة):

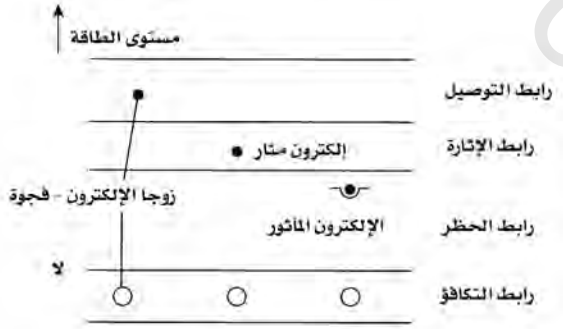
يرجع المصطلح **كاشفات الحالة الصلبة** إلى أصناف معينة من المواد البلورية التي تظهر آثارًا قابلة للقياس عند تعرضها إلى إشعاعات مؤينة، ففي مثل هذه المواد توجد الإلكترونات في **روابط طاقة** معينة ينفصل بعضها عن بعض بواسطة **روابط الحظر**.

يسمى أعلى رابط طاقة، الذي توجد فيه الإلكترونات عادة **رابط التكافؤ**. إن انتقال الطاقة من الفوتون أو الجسيم المشحون إلى أحد إلكترونات التكافؤ ربما يرفعه من رابط التكافؤ من خلال رابط الحظر إلى **رابط إثارة**، أو إلى **رابط التوصيل**، والفراغ الذي يخلفه تحرك الإلكترون يسمى **فجوة**، وهو مشابه للأيون الموجب في الأنظمة الغازية.

يعرف تهيج الإلكترون إلى رابط التوصيل **بالتأين**، وإن **زوج الإلكترون–الفجوة** يمكن مقارنته بالزوج الأيوني المتكون في الغازات. يتحرك كل من الإلكترون والفجوة على حدة، إلا أنهما يتجاذبان عند وجود مجال كهربائي، ومن ثم فإنهما يسهمان في التوصيل الكهربائي في المواد.

أما عملية تهيج الإلكترون إلى رابط الإثارة فتسمى **الإثارة** ويظل الإلكترون ـ في هذه الحالة ـ محيطًا بالفجوة بواسطة القوى الكهربائية، ولكنه لا يسهم في التوصيل.

والعملية الثالثة التي يمكنها أن تقع هي **صيد الإلكترون**، وما فخاخ الصيد إلا عبارة عن تشوه أو عدم نقاوة الذرات في التركيب البلوري، حيث يؤدي إلى أسر الإلكترونات في رابط الحظر. وتظهر العمليات الثلاث في الشكل (7-3).




شكل (7- 3) التأين والإثارة وصيد الإلكترون

يعتمد وجود الحالات الثلاثة ـ التي ربما تكون دائمة بالفعل أو أنها قد تبقى مدة جد قصيرة ـ على طبيعة المادة، أو على درجة الحرارة إلى حد كبير. وبالرجوع إلى رابط التكافؤ، فإن فرق الطاقة ينبعث على شكل إشعاع **فلوريسيني** (إشعاع اللصف) وهو عبارة عن فوتونات الضوء المرئي. أما في حالة الإلكترونات المصطادة، فلا بد أن تهيأ الطاقة ـ أولاً ـ لمساعدة الإلكترون على الهرب من الفخ والعودة إلى رابط الإثارة، ومن ثم إلى رابط التكافؤ. إن الطاقة المحررة للإلكترونات تعد – عادة – بواسطة رفع درجة الحرارة، والضوء المنطلق نتيجة لهذا يدعى **ظاهرة الحراضوئية**.

إن التطبيق الواقعي لكل من العمليات الثلاث: التوصيل الكهربائي، والتفلور (ظاهرة اللصف)، وظاهرة الحراضوئية، ستشرح فيما يلي تفصيلاً. ولا بد من الإشارة إلى أن الأثر الكهروضوئي هو إحدى عمليات الحالة الصلبة، ولكنه سيعالج بشكل مستقل فيما يلي.

### 7-3-2 كاشفات التوصيل:

مادام التغير في التوصيل الكهربائي متسببًا عن التأين فإن كاشفات التوصيل في الحالة الصلبة مشابهة ـ إلى حد ما ـ لأنظمة التأين في الغاز وكاشف كبريتيد الكادميوم (CdS)، –على سبيل المثال– يشابه غرفة التأين، فهو يعمل على غرار معدل التيار، وهو مناسب –في بعض التطبيقات– لقياس معدل جرعة جاما، وميزته الأساسية أنه أصغر بكثير من غرفة التأين، وله كذلك حساسية أكبر.

وبعض كاشفات الحالة الصلبة كالجرمانيوم والسليكون تعمل ـ كما في حالة الأجهزة الغازية ـ بطريق النبض، ومن عيوب الجرمانيوم أنه يجب أن يعمل في درجات حرارية منخفضة، وفي كلتا الحالتين يتناسب حجم النبضة مع ترسب الطاقة في الكاشف نفسه. والتطبيق الأساسي لها هو مطياف جاما الذي بواسطة تحليله لحجم النبضات من الكاشف يصبح ممكنًا قياس طاقة إشعاعات جاما.

### 7-3-3 كاشفات الوميض:

تعتمد كاشفات الوميض على كشف إشعاع الفلورة (اللصف: الضوء عادة) المنبعث عندما يعود الإلكترون من حالة الإثارة إلى رابط التكافؤ، والمواد التي تنتقى لهذه الكاشفات هي تلك التي يحصل فيها هذا بسرعة كبيرة (نحو 1 مايكرو ثانية). إن امتصاص فوتون جاما ذي المليون إلكترون فولت ينتج عنه في كاشف الوميض 10,000 إثارة وكذلك العدد نفسه من فوتونات الضوء، ويكشف عن هذه الومضات بواسطة أنبوب التضاعف الفوتوني الذي يحول الضوء إلى نبضات كهربائية تكبر فيما بعد.

يتناسب حجم النبضة مع ترسب الطاقة في البلورة بواسطة الجسيمات المشحونة أو الفوتونات، وفي قياسات أشعة جاما، فإن المادة الومضية الأكثر انتشارًا يوديد الصوديوم (NaI)، وتكون عادة في بلورة أبعادها 50 ملم قطرًا × 50 ملم طولاً، وتستعمل هذه على نطاق واسع في مطياف جاما. أما في كاشفات ألفا فتستعمل بلورات كبريتيد الزنك بطبقات رقيقة جدًّا.

### 7-3-4 الكاشفات الحراضوئية:

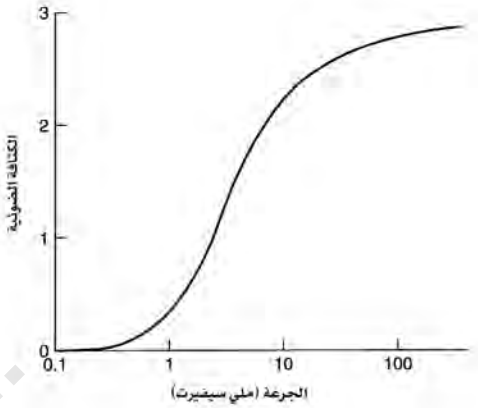
تستغل في الكاشفات الحراضوئية (Thermo Luminescent Detectors "TLD") عملية اصطياد الإلكترونات، وتختار المواد بحيث إن إلكتروناتها التي تصطاد نتيجة للتعرض للإشعاعات المؤينة تكون مستقرة في درجات الحرارة الاعتيادية. فإذا ما سخنت المادة - بعد التشعيع - إلى درجة حرارية مناسبة (نحو 200°م) فإن الإلكترونات المصطادة سوف تتحرر وتعود إلى رابط التكافؤ مع انبعاث فوتونات الضوء. ولهذا، فإذا ما سخن الجهاز في الظلام - ولكن تحت أنبوب للتضاعف الفوتوني- فإن الضوء الناتج يمكن قياسه حيث يتناسب مع جرعة الإشعاع التي استقبلها الكاشف. وأكثر المواد استخدامًا فلوريد الليثيوم (LiF)، ولكن هناك أنواعًا أخرى من المواد ومن ضمنها فلوريد الكالسيوم وبوريت الليثيوم التي لها تطبيقات خاصة.

يجب ملاحظة أنه مع أن طرق التوصيل والوميض أكثر ملاءمة لقياسات كثافة الإشعاع (أي معدل الجرعة)، فإن الكواشف الحراضوئية تقيس الجرعة الكلية المتراكمة عبر مدة من التعرض.

## 7ـ4 الأثر الفوتوغرافي:

تؤثر الإشعاعات المؤينة على الأفلام الفوتوغرافية بالطريقة نفسها التي يؤثر فيها الضوء المرئي، حيث يحتوي الفيلم الفوتوغرافي على مستحلب من بلورات (حبيبات) بروميد الفضة على شريحة بلاستيكية شفافة، ثم تمتص هذه الحبيبات الطاقة الساقطة سواء أكانت من الضوء أو الإشعاع المؤين مؤدية إلى تكون عناقيد (غالبًا ما تكون بضع ذرات فقط) من الفضة الصلبة، وتعرف هذه العناقيد باسم "الصورة الكامنة". وعندما يحمض الفيلم تساعد هذه الكميات الضئيلة من الفضة على تحول جميع الفضة في الحبيبات من شكلها المركب (بروميد الفضة) إلى فضة صلبة تترسب على مادة الشريحة البلاستيكية، وعملية التضاعف هذه تعطي كسبًا قدره $10^9$ يوضح ارتفاع حساسية المستحلب الفوتوغرافي. وبعد التحميض يثبت الفيلم بغسله بمستحضر ثايوسلفات الصوديوم (هايبو) الذي يقوم بإزالة أي بروميد فضة غير متحول.

ومن أجل الحصول على نتائج جيدة، لا بد من السيطرة بدقة على تركيز أحماض التثبيت وعلى درجة الحرارة، وكذلك على زمن العملية، وتستعمل لمراقبة الإشعاع عادة أفلام فوتوغرافية ذات مساحة 30 × 40 ملم محاطة بصندوق محكم الإغلاق يمنع دخول الضوء، ويقرأ الفيلم ـ بعد التحميض ـ بإمرار شعاع ضوئي خلاله وقياس كثافة الضوء الخارج منه، والذي يمكن تحويله إلى جرعة إشعاعية بواسطة خط المعايرة البياني الذي يحصل عليه من تعريض عدد من الأفلام إلى جرعات معروفة، ثم رسم الخط البياني لعلاقة "الجرعة – الكثافة" (انظر الشكل 7- 4).




شكل ( 7- 4 ) الخط البياني لعلاقة الجرعة – الكثافة

وتعتمد حساسية الفيلم على حجم حبيبة المستحلب، حيث تعطي أعلى الأنواع حساسية مدى لقياس الجرعة يتراوح ما بين 50 مايكرو سيفرت و50 ملي سيفرت.

إن الميزة الأساسية للفيلم الفوتوغرافي، أنه يمكن معرفة معلومات عن نوع الإشعاع وطاقته بمساعدة الماسكات الخاصة للأفلام والحاوية على مرشحات، إضافة إلى أنه يمكن خزن الفيلم المحمض ثم إعادة فحصه فيما بعد، وأسوأ عيب في الأفلام هو أنه لا يمكن الحصول على قراءة سريعة.

## 5.7 أثر التنشيط الإشعاعي:

ينتج عن قذف معظم العناصر بالنيوترونات نويدات نشطة اشعاعيًّا، وتسمح قياسات درجة النشاط بتخمين فيض النيوترونات الساقطة. وتكون الطريقة ـ في معظم الحالات ـ غير دقيقة، والتطبيق الأساسي لها تخمين الجرعات الكبيرة الناتجة عن الحوادث.

إن قياس النيوترونات السريعة تجري عادة باستعمال أقراص الكبريت، حيث يحدث التفاعل الآتي:

$$^{32}S(n,p)^{32}P$$ (الفوسفور P)

ومن التفاعلات الأخرى المفيدة في قياس النيوترونات السريعة ما يلي:

$$^{115}In(n,\gamma)^{116}In \qquad \text{(الأنديوم- In)}$$

$$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au \qquad \text{(الذهب- Au)}$$

إن النويدات المذكورة $^{23}P$ و $^{116}In$ و $^{198}Au$ هي مشعات لبيتا، ويمكن عدها في أجهزة مناسبة.

هناك مظهر آخر لتأثير التنشيط الإشعاعي، وهو فيما لو تعرض شخص إلى جرعة نيوترونات عالية (أكثر من 0.1 جراي تقريبًا) وأصبح ـ إلى حد ما ـ مشعًّا، فعندئذ يمكن تقدير الجرعة بعمل حسابات وفق النشاط الإشعاعي المحتث. وعلى سبيل المثال، فالنشاط الإشعاعي للصوديوم (Na) في الجسم ينتج في حالة إنتاج $^{24}Na$ الباعث لأشعة بيتا:

$$^{23}Na(n,\gamma)^{24}Na$$

وعند الجرعات المتوسطة من النيوترونات يمكن كشف الاضمحلال الإشعاعي بمجرد إمساك كاشف حساس مثل مجس جايجر ـ مويلر وجعله مقابل الجسم.

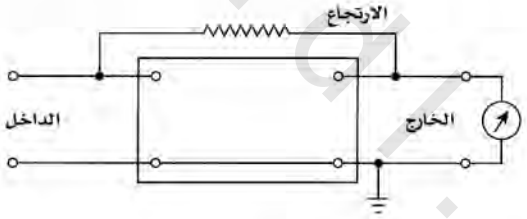
## 7ـ6 الدوائر الكهربائية:

### 7-6-1 أنواع الدوائر:

لقد تم في كل من المبحثين (7-2) و(7-3) وصف كاشفات عدة تعطي الإشارة الكهربائية على شكل خارج منها، وهذه الإشارة الكهربائية على نوعين: **التيار المستمر والنبضات**. تتم قياسات التيار المستمر بواسطة مكبر التيار المستمر، في حين تستعمل دوائر العد ومقاييس المعدل (المعدلات) للخارج النبضي، وسوف توصف أهم المظاهر العملية لهذه الدوائر فيما يلي.

## 7-6-2 مكبر التيار المستمر:

إن مكبر التيار المستمر هو وسيلة لتكبير التيار المنخفض جدًّا إلى قيمة عالية تكفي لتشغيل الأميتر الاعتيادي أو دائرة العرض الرقمي. وتتطلب أجهزة غرفة التأين كسبًا[1] عاليًا، وقد يكون التيار الداخل بحدود $10^{-12}$ أمبير، في حين يتطلب الأميتر تيارًا قدره $10^{-6}$ أمبير لتشغيله، وهذا يتطلب كسبًا قدره $10^{6}$. ومثل هذا يعني أن الكسب العالي تكون له قابلية عدم الاستقرار بسبب التأرجح الحراري وغير ذاك، ويمكن تخفيض هذا إلى حد مناسب باستعمال الارتجاع السالب (انظر الشكل 7- 5). وهذا يعني باختصار أنه لو غذي الداخل بإشارة زائدة فإنها ستكتسب إشارة مخالفة، وتعود من الخارج نحو الداخل، وهناك نقطة أخرى مهمة، وهي أنه عند قياس تيار صغير بحدود $10^{-12}$ أمبير، فلا بد من العناية الفائقة بمنع تيارات التشويش المؤثرة على الإشارة الداخلة، ولا بد من حدود مثالية عالية جدًّا من العزل والنظافة بين الخارج في الكاشف والداخل في المكبر.




شكل (7- 5) مكبر التيار المستمر ـ الارتجاع السالب

التطبيق الرئيس لمكبر التيار المستمر هو استعماله في أجهزة غرفة التأين بنوعيها الثابت والمحمول (القابل للحمل)، ولكنها تستعمل أيضًا في كاشفات الحالة الصلبة من نوع كبريتيد الكاديوم (CdS).

(1) الكسب (Gain): الزيادة في الطاقة أو الحجم أو الإشارة أو غير ذلك الحاصل بسبب جهاز ما ويساوي النسبة بين الخارج والداخل منها أي الكسب= الخارج/ الداخل.

### 7-6-3 أجهزة عد النبض:

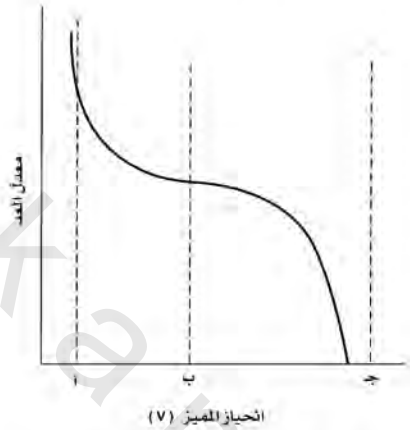
يتكون جهاز العد الأساسي من **مكبر النبض والمميز والمدرج**. وقد يحتوي ـ إضافة إلى ذلك ـ على وحدة جهد كهربائي عال من أجل تجهيز فولتية عالية للكاشف.

إن عمل مكبر النبض هو استقبال النبضات من الكاشف وتكبيرها حتى الحجم الذي يمكن به التقاطها بالدوائر اللاحقة. ويعتمد حجم النبضات على نوع الكاشف، إلا أن الحد المثالي هو مايكرو فولتات عدة بالنسبة إلى كاشفات الحالة الصلبة، وملي فولتات عدة بالنسبة إلى العدادات التناسبية والوميضية، وتصل إلى فولتات عدة بالنسبة إلى عدادات جايجر–مويلر. ومادامت معظم دوائر العدادات تعمل على نبضات ذات فولتات عدة، فهذا يعني أن المكبر لا بد أن يؤدي كسبًا قدره $10^6$ في كاشفات الحالة الصلبة، و$10^3$ للعدادات التناسبية والنبضية، و1 بالنسبة لعدادات جايجر–مويلر.

شكل (7 - 6) عمـل المميـز

في جميع الأدوات الكهربائية المنتشرة حاليًا، يوجد ـ إلى حد ما ـ تشويش إلكتروني على شكل نبضات كهربائية صغيرة، وهذه النبضات التشويشية تتكبر مع نبضات الكاشف، فإذا لم تتخذ الاحتياطات اللازمة فسوف يقوم الجهاز بعدها، وما عمل المميز إلا استبعاد كل النبضات دون المستوى المحدد. ويتم تنظيم هذا بوضع فولتية **انحياز المميز**، حيث يقوم الجهاز بتسجيل تلك النبضات التي سعتها سعة مستوى الانحياز فقط.

ويبين الشكل (7- 6) سلسلة من النبضات مع نبضات تشويش صغيرة معطاة من المكبر إلى المميز، فإذا كان مستوى الانحياز أقل من ( أ ) فسوف تعد نبضات التشويش، وإذا ما جعل فوق (جـ) فلن تعد حتى نبضات الكاشف. والمستوى الصحيح هو المؤشر عليه بالحرف (ب).

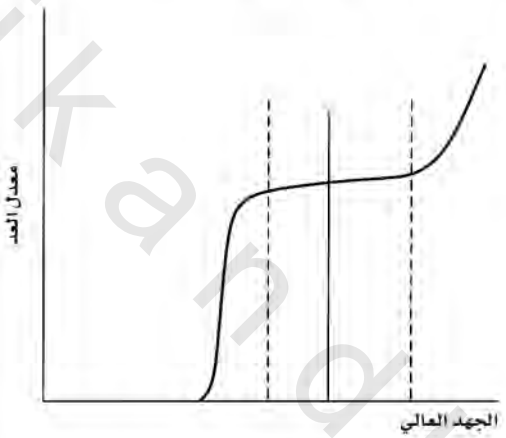



شكل (7-7) خصائص انحياز المميز

يمكن رسم خصائص انحياز المميز بقياس معدل العد من الكاشف مع مستوى انحياز المميز، وهذا ما يبينه شكل (7-7) الذي تمثل فيه الخطوط أ، ب، جـ، ما يقابلها في الرسم السابق، ولهذا فإذا كان جهد الانحياز دون المستوى ( أ ) فسوف يسجل معدل عد عال جدًّا، وإذا ما تجاوز (جـ) فلن يسجل أي عد، والوضع الصحيح هو عند (ب) حيث تسجل النبضات الصافية القادمة من الكاشف فقط. وإضافة إلى ذلك مادام مستوى الخط البياني غالباً عند هذه النقطة، فلن تؤثر التغيرات الصغيرة في مستوى الانحياز في معدل العد كثيرًا.

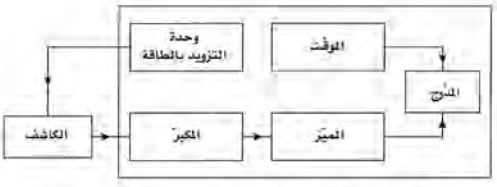
يستقبل المدرج النبضات من المميز، فيعطي إشارة مرئية عند كل عدد من النبضات (العدات) التي يستقبلها عبر مدة العد، ويحتوي المدرج عادة على جهاز توقيت؛ لذا فبمجرد البدء فإنه يعد إلى مدة محددة تتراوح ما بين بضع ثوانٍ، حتى ساعات عدة.

يعتمد معدل العد في الكاشف على مقدار الفولتية الموضوعة، ومن أجل إعداد الجهاز، يوضع مصدر صغير قرب الجهاز، وتؤخذ سلسلة من العدات لفولتيات مختلفة للكاشف، ويسمى الخط البياني الحاصل عن هذه النتائج باسم **طور الاستقرار**؛ لأن معدل العد نسبيًّا لا يعتمد على الفولتية الموضوعة خلال مدى معين (انظر الشكل 7-8). ويشغَّل العداد عند فولتية تقع بين الخطوط المنقطة (أي عند طور الاستقرار)، ولهذا فإن التغيرات البسيطة في فولتية الجهاز لن تؤثر على استجابته.




شكل (7- 8) أحد أطوار الاستقرار في عداد
جايجر ـ مويلر

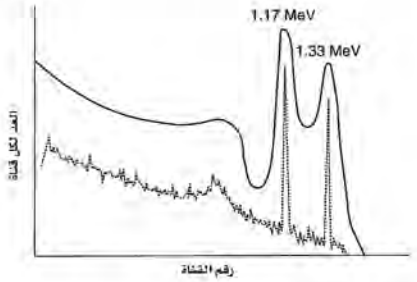
يوضح الشكل التخطيطي (7-9) الترتيب التام لجهاز العد، والعمل الرئيس لهذا النوع من الأجهزة هو قياس العينات المشعة من الأنواع المختلفة. ويندرج تحت العينات التي تقيَّم بهذه الطريقة ـ في الفيزياء الصحية ـ أوراق ترشيح العينات الهوائية، وأوراق فحوص المسح والعينات المائية. أما المظاهر العملية لحساب العينات فسوف توصف بتفصيل أكثر في الفصل التاسع، وإن عددًا من الطرق الخاصة سيجري عرضها في الفصل الرابع عشر.




شكل (7-9) رسم تخطيطي لجهاز عـد

## 7-6-4 محلل ارتفاع النبضات:

عندما تستعمل الكاشفات التي يعتمد ارتفاع النبضة الخارجة منها على طاقة تأين الجسيم أو الفوتون، فغالبًا ما تسدي عونًا كبيرًا في معرفة معلومات عن طيف الإشعاع من خلال تحليل تلك النبضات. ومحلل ارتفاع النبضات (PHA) يقوم بعزل النبضات إلى عدد كبير من القنوات المعتمدة على ارتفاع النبضة. ولهذا، فلو أن أقصى ارتفاع للنبضة في الجهاز كان 10 فولتات وتوافرت مئة قناة فيمكن حينئذ للنبضات أن تنفصل في قنوات عرض كل منها 0.1 فولتات، وسوف تذهب أي نبضة قيمتها أصغر من 0.1 فولت إلى قناة (1)، كل نبضة قيمتها ما بين 0.1 إلى 0.2 ستذهب إلى قناة (2)، وهكذا حتى النبضات ما بين 9.9 إلى 10 فولتات ستذهب إلى القناة (100). وسوف تسجل عدد النبضات الذاهبة إلى كل قناة، وتظهر على شكل مرئي، وغالبًا ما تكون على أنبوبة أشعة مهبطية حتى تحولها ـ بشكل ما ـ إلى صورة مرئية تمثل طيف الإشعاع. ويبين الشكل (7-10) طيف أشعة جاما للكوبلت-60 ($Co^{60}$)، المسجل بواسطة بلورة يوديد الصوديوم (NaI).




شكل (7-10) طيف أشعة جاما للكوبلت (60Co)

من بلورة يوديد الصوديوم (الخط الصامل) ومن الجرمانيوم ليثيوم (الخط المنقط).

## 7-6-5 مقياس المعدل (المِعْدال):

إذا ما استعمل الكاشف المشتغل بطريقة النبض ضمن جهاز قابل للحمل فليس من العملي اعتياديًّا ولا من المرغوب استعمال جهاز عد، وإنما الطريقة المثلى لعرض العد هي استعمال مقياس المعدل (المعدال) الذي يستقبل النبضات، فيشير إليها على أميتر اعتيادي وعرض رقمي بقراءة تدل على معدل النبض.

شكل (7-11) دائرة أساسية لمقياس المعدل

يوضح الشكل (7 - 11) أساس دائرة مقياس المعدل، حيث تقوم كل نبضة بتزويد شحنة إلى المكثف (س) التي تتفرغ ببطء خلال المقاومة (م) فتظهر قراءة على الأميتر، ولكن قراءة الأميتر تتذبذب بانتظام بسبب أن وصول النبضة الجديدة يسبب زيادة مفاجئة في القراءة يتبعها نقصان بطيء حتى وصول النبضة المقبلة. ويمكن تقليل درجة التذبذب بزيادة ثابت الزمن للدائرة، الذي يستوجب زيادة قيمة كل من (س) أو (م) أو كليهما، حيث إن ثابت الزمن بالثانية يساوي حاصل ضرب (س بالفاراد × م بالأوم). وعلى الرغم من أن الزيادة في ثابت الزمن تجعل قراءة الأميتر أكثر نعومة، فإنها تقلل استجابة الدائرة للتغيرات المفاجئة في معدل النبضات، وبعد التغير في معدل النبضات تأخذ نحو أربعة أضعاف ثابت الزمن للجهاز كي تظهر القراءة الجديدة، ويجب ألا يتجاوز ثابت الزمن عادة في جهاز المراقبة القابل للحمل أكثر من ثلاث ثوانٍ أو أقل.

## خلاصة الفصل:

**التأين في الغازات:** يقاس بنظام غرفة التأين والخارج المقيس تيار.

**التكبير الغازي:** إلكترونات التأين تسبب تأينات أخرى إن كان الجهد المسلط مرتفعًا بشكل كافٍ.

**العداد التناسبي:** يعطي نبضات من التيار تتناسب مع الطاقة المترسبة من الجسيم الأصلي.

**عداد جايجر–مويلر:** كل جسيم متأين واحد يؤدي إلى انهمار (avalanche) من الإلكترونات التي تعطي نبضة خارجية.

**كاشفات الحالة الصلبة:** تعتمد على التأين والإثارة وأسر الإلكترون في مواد بلورية معينة.

**كاشفات التوصيل:** يمكن استخدامها بنمط النبضات أو التيار.

**عدادات الوميض:** تكشف النبضات الضوئية من الوامض باستعمال أنبوب التضاعف الفوتوني.

**الكاشفات الحراضوئية:** تخزن الطاقة حتى تسخن المادة، فينبعث الضوء، يهيئ قراءة سريعة.

**الأثر الفوتوغرافي:** تسويد الفيلم، خط "الجرعة–الكثافة" البياني، يهيئ تسجيلاً دائماً للجرعة.

**أثر التنشيط الإشعاعي:** يقيس النشاط الإشعاعي المسبب عن النيوترونات.

**التيار المستمر:** يقيس تيارات صغيرة.

**أنظمة عد النبضات:** تتكون من مكبر النبضة ومميز وعداد.

**محلل ارتفاع النبضات:** يظهر طيف الإشعاع.

**مقياس المعدل:** يسجل معدل النبض على الأميتر، أو عارض رقمي.

## أسئلة للمراجعة:

(1) صف عمل عداد جايجر-مويلر.

(2) أي نوع من كاشفات الحالة الصلبة ملائم لقياس جرعة الإشعاع المتراكمة الشخصية؟ وكيف يعمل هذا الكاشف؟

(3) اكتب وصفًا مختصرًا للتأثير الفوتوغرافي، وناقش مميزاته وعيوبه في مقاييس الجرعات الشخصية.

(4) ارسم شكلاً تخطيطيًّا لجهاز عد، ثم صف باختصار عمل الدوائر المختلفة.

obeikandl.com

# الفصل الثامن

# أخطار الإشعاع الخارجي

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الثامن

# أخطار الإشعاع الخارجي

## 8-1 مصدر الخطر:

تأتي **أخطار الإشعاع الخارجي** من مصادره الموجودة خارج الجسم، وعندما تدخل المواد المشعة إلى الجسم تؤدي إلى **أخطار إشعاع داخلي**، وهذه تتطلب طرقًا مختلفة للتحكم فيها، ستدرس في الفصل التاسع.

قد يكون مرجع الأخطار الخارجية جسيمات بيتا أو كلاً من: الأشعة السينية وأشعة جاما، وكذلك النيوترونات، حيث بإمكانها اختراق الأعضاء الحساسة في الجسم، ولا تعد جسيمات ألفا - عادة - من مصادر الإشعاع الخارجي، حيث إنها لا تستطيع اختراق الطبقة الخارجية للجلد، ويمكن التحكم في الأخطار الخارجية بتطبيق القواعد الثلاث، وهي: **الزمن والمسافة والحاجز الواقي**.

## 8-2 الزمن:

إن مقدار الجرعة المتجمعة لشخص يعمل في منطقة إشعاع ذات معدل جرعة معين يتناسب طرديًا مع الوقت المقضي في تلك المنطقة.

الجرعة الكلية = معدل الجرعة × الزمن

**مثال 8-1:**

إن الجرعة المصرح بها للعاملين هي 20 ملي سيفرت في السنة، وهذه تمثل 0.4 ملي سيفرت أو 400 مايكرو سيفرت في الأسبوع على افتراض 50 أسبوع عمل في السنة. ما عدد الساعات التي يمكن أن يقضيها أحد العاملين في الأسبوع في منطقة يبلغ معدل الجرعة فيها 20 مايكرو سيفرت في الساعة؟

**الحل:**

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

400 = 20 × ن

ن = 20 ساعة

**مثال 8-2:**

عامل عليه أن يعمل 40 ساعة كاملة أسبوعيًّا في منطقة معينة. ما أعلى معدل للجرعة يمكن أن يسمح به في تلك المنطقة؟

**الحل:**

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

400 = معدل الجرعة × 40

معدل الجرعة= 10 مايكرو سيفرت/ ساعة

**مثال 8- 3:**

ما الجرعة السنوية لعامل يعمل سنة عمل كاملة (2000 ساعة) في منطقة يبلغ معدل الجرعة فيها 2.5 مايكرو سيفرت/ ساعة؟

الحل:

الجرعة =معدل الجرعة × الزمن

= 2.5 × 2000

= 5000 مايكرو سيفرت (أو 5 ملي سيفرت)

**مثال 8- 4:**

إن حد الجرعة المصرح بها لعموم المواطنين في السنة هو 1 ملي سيفرت. ما أعلى معدل مسموح به للجرعة في منطقة قد تشغل بالمواطنين دائمًا (أي 168 ساعة أسبوعيًّا)؟

**الحل:** 0.12 مايكرو سيفرت/ ساعة.

يمكننا من هذه الأمثلة (1- 4) ملاحظة أن معدل الجرعات ذات الأهمية الخاصة، التي قد يتعرض لها عادة في المنشآت النووية كالمفاعلات أو حولها هي ما بين 0.1 مايكرو سيفرت/ ساعة حتى بضع عشرات مايكروسيفرت/ ساعة، ولكن يمكن الاستنتاج من الأمثلة السابقة أن المتطلب الوحيد هو أن الجرعة ينبغي أن تكون أقل من الحد. وكما مر بنا في مناقشة الفصل 6، فمن المطلوب أيضًا أن تكون الجرعة أقل ما يمكن الحصول عليه بحدود المعقول، وهذا يشمل تحليل الوضع بالنسبة إلى مصادر التعرض والوقت الذي يصرفه العاملون في المنطقة لرؤية إمكانية تقليله، ومن المطلوب أيضًا النظر في الوسائل التي تمكّن من خفض الجرعة، والطرق المتوافرة لذلك هي: زيادة المسافة بين الشخص والمصدر المشع، أو وضع بعض المواد الواقية بين الشخص والمصدر المشع.

## 3.8 المسافة:

تأمل مصدرًا للإشعاع صغير الحجم يطلق إشعاعًا من جميع الجهات بالتساوي، وقد وضح في الفصل الثالث أن الفيض (كثافة الأشعة) على مسافة (r) من مصدر صغير الحجم يتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة ($r^2$)، وحيث إن معدل الجرعة يتناسب طردًا مع الفيض فإن معدل الجرعة هو أيضًا يتبع قانون التربيع العكسي. ويجب أن يُعلم أن هذا لا يصح تمامًا إلا بالنسبة إلى المصدر النقطي فقط وكذلك الكاشف النقطي، وأن يكون امتصاص الإشعاع بين المصدر والكاشف مهملاً أيضًا، ويمكن كتابة قانون التربيع العكسي كما يلي:

$$D \propto \frac{1}{r^2}$$

أو

$$D = \frac{K}{r^2}$$

$$Dr^2 = K \qquad \text{حيث إن "K" ثابت لمصدر معين}$$

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

حيث: $D_1$ هو معدل الجرعة على مسافة $r_1$ من المصدر.

$D_2$ هو معدل الجرعة على مسافة $r_2$ من المصدر.

**مثال 8- 5:**

إن معدل الجرعة على بعد 2م من مصدر معين لأشعة جاما هو 400 مايكرو سيفرت في الساعة. على أي مسافة يكون معدل الجرعة 25 مايكرو سيفرت/ ساعة.

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

$$400 \times r_1^2 = 25 \times r_2^2$$

$$r_2 = 8 \ \ metres$$

يمكن ملاحظة أن مضاعفة المسافة بين المصدر والشخص يخفض معدل الجرعة إلى ربع القيمة الأساسية. ومضاعفة المسافة إلى ثلاثة أضعاف ينقص معدل الجرعة إلى التسع وهلم جرًّا.

## 8-3-1 تعبير جبري لحساب معدل الجرعة من مصدر جاما:

هناك تعبير جبري مفيد لحساب معدل الجرعة التقريبي من مصدر جاما ألا وهو $D = \frac{ME}{6r^2}$

حيث:

"D" معدل الجرعة مقدرة بالمايكرو سيفرت/ ساعة.

"M" شدة النشاط الإشعاعي للمصدر بالميجابيكريل.

"E" طاقة جاما لكل تحلل بوحدات الميجا إلكترون فولتز.

"r" هي البعد عن المصدر بالمتر.

عند تطبيق هذا التعبير الجبري يجب أن يحتاط في اختيار الوحدات المناسبة، ولا بد من التأكد أن في الحالات الواقعية يجب أن تتخذ الحماية بناء على قياس معدل الجرعة عمليًّا.

**مثال 8- 6:**

احسب معدل الجرعة التقريبي على بعد 2م من مصدر كوبلت-60 شدته 240 ميجابيكريل يشع نوعين من أشعة جاما في كل تحلل: أحدهما بطاقة 1.17 ميجا إلكترون فولت، والآخر بطاقة 1.33 ميجا إلكترون فولت.

$$D = \frac{ME}{6r^2} Sv / h$$

$$D = \frac{240(1.17 + 1.33)}{6 \times 2^2}$$

$$= \frac{2.5 \times 240}{24}$$

D = 25 مايكرو سيفرت/ساعة

**مثال 8-7:**

احسب نشاط مصدر صوديوم-22 يعطي معدل جرعة قدرة 64 مايكرو سيفرت/ ساعة على بعد 1م علمًا بأن الصوديوم -22 يطلق فوتونًا واحداً من أشعة جاما طاقته 1.28 ميجا إلكترون فولت في كل تحلل.

(الجواب: 300 ميجا بيكريل).

## 8-4 الحواجز الواقية:

إن الطريقة الثالثة للتحكم في أخطار الإشعاع الخارجي، هي الحواجز أو الدروع الواقية، وهذه هي الطريقة المفضلة عادة لأنها تؤدي فعلاً إلى مستويات عمل أمينة، في حين الاعتماد على البعد أو على زمن التعرض ربما تتطلب مراقبة إدارية مستمرة للعاملين.

تعتمد كمية الحاجز المطلوبة على نوع الإشعاع الذي يرغب في حجزه وعلى شدة المصدر المشع، وكذلك على معدل الجرعة المسموح بها خارج تلك الحواجز الواقية.

**جسيمات ألفا** من السهولة جدًّا امتصاصها، حيث يكفي عادة وضع ورقة رقيقة لإيقافها، ولهذا فهي لا تشكل أبدًا مشكلة في حجزها.

**جسيمات بيتا** أكثر اختراقًا من جسيمات ألفا، ففي الطاقات التي نواجهها عادة (ما بين 1 إلى 10 ميجا إلكترون فولت) يتطلب حجز أشعة بيتا سمكًا قد يصل إلى 10 ملم من البيرسبكس (Perspex) لامتصاصها تمامًا. إن السهولة التي يمكن معها التوقي من مصادر بيتا تقود في بعض الأحيان إلى التصور الخاطئ أنها ليست بخطورة مصادر جاما أو النيوترونات، ولهذا تتداول مصادر كبيرة لبيتا بشكل مباشر، وهذا سلوك خطير جدًّا، فمثلاً مقدار الجرعة الممتصة على بعد 3 ملم من مصدر بيتا شدته مليون بيكريل (1MBq) هي 1 جراي/ ساعة تقريبا.

وهناك مشكلة ملحوظة أيضًا تواجه في حجز أشعة بيتا، وهي انطلاق أشعة سينية ثانوية نتيجة التباطؤ السريع لجسيمات بيتا التي هي أشد اختراقًا من إشعاع $\beta$، وتسمى هذه الأشعة السينية بأشعة الكبح أو التوقف، وستناقش تفصيلاً في الفصل 13. إن نسبة طاقة بيتا التي تظهر على شكل أشعة كبح تقدر بـ ($\frac{ZE}{3000}$) حيث إن Z هو الوزن الذري للحاجز وE هي طاقة بيتا بوحدة الميجا إلكترون فولت، وهذا يعني أن حواجز بيتا يجب أن تشيد من مواد منخفضة الوزن الذري (مثل الألمونيوم أو البيرسبكس) لتقليل كمية أشعة الكبح المتولدة.

إن مصدر بيتا يبعث أشعة بيتا بمدى طاقة كامل يبدأ من الصفر، وينتهي بالطاقة العظمى المميزة للمصدر ($E_{max}$) ومعدل الطاقة في معظم الأحيان نحو ($\frac{1}{3}E_{max}$). أما قدرة جسيمات بيتا على الاختراق فتعتمد على طاقتها، ويمكن استعمال هذه الحقيقة

لتقدير طاقة أشعة بيتا للمساعدة على تحديد نوع المصادر المجهولة، وسيناقش ذلك بتفصيل أكثر في الفصل 15.

تنخفض كل من **أشعة جاما والأشعة السينية** أُسِّيًّا عند مرورها خلال أية مادة، ويمكن كتابة معدل جرعة الأشعة الناتجة عن السينية أو أشعة جاما المخترقة لحاجز كما يلي:

$$D_t = D_0 e^{-\mu t}$$

حيث:

($D_0$) معدل الجرعة من دون الحاجز.

$D_t$ معدل الجرعة بعد مرورها بالحاجز الذي سمكه t.

$\mu$ معامل الامتصاص الخطي لمادة الحاجز.

إن معامل الامتصاص الخطي $\mu$ يعتمد على نوع مادة الحاجز المستخدم وعلى طاقة الفوتونات الساقطة، ووحدته (وحدات الطول$^{-1}$) وتكتب عادة بوحدات م$^{-1}$ أو ملم$^{-1}$.

### 8-4-1 سمك نصف القيمة:

إن سمك النصف (HVL) لنوع معين من الحواجز الواقية هو السمك المتطلب لخفض كثافة الأشعة الساقطة إلى النصف. فإذا ما رمزنا إلى سمك النصف بـ $t_{\frac{1}{2}}$ تصبح المعادلة السابقة:

$$\frac{D_t}{D_o} = 0.5 = \exp\left(-\mu t_{\frac{1}{2}}\right)$$

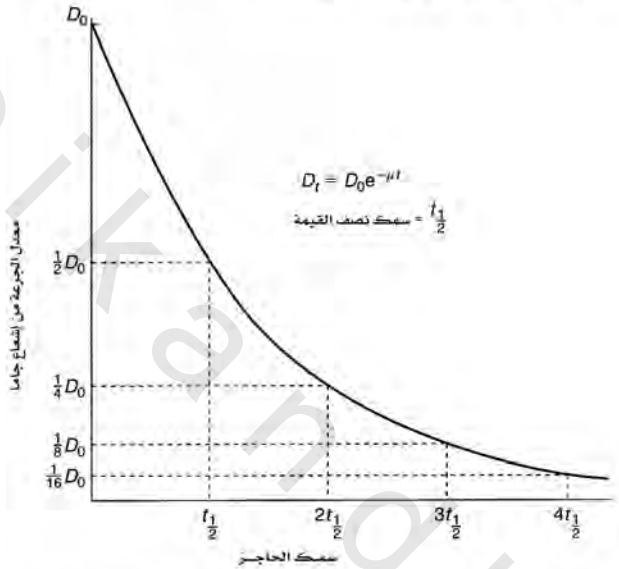
وبأخذ اللوغارتم للأس e

$$Log_e 0.5 = -\mu t_{\frac{1}{2}}$$

$$-0.693 = -\mu t_{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\mu}$$

إن مصطلح سمك النصف مفيد جداً في أجراء الحسابات التقريبية السريعة للحواجز، فسمك النصف الواحد (1 HVL) يخفض الكثافة إلى النصف، وضعف سمك النصف (2 HVL) يخفض الكثافة إلى الربع، وثلاثة أضعاف منه (3 HVL) يخفضها إلى الثمن وهلم جراً كما هو موضع في الشكل (8-1).




شكل ( 8-1) تغير معدل جرعة جاما مع سمك الحاجز.

تعتمد قيمة $\mu$ على مادة الوسط وعلى طاقة الأشعة وكذلك قيمة $t_{\frac{1}{2}}$ تبعاً لها. وهناك قيمة أخرى تستخدم في بعض الأحيان في عمل الحواجز الواقية وهي سمك عشر القيمة $t_{1/10}$. وبإجراء حسابات مشابهة كما ورد آنفا يمكن إثبات أن:

$$t_{1/10} = \frac{\log_e 10}{\mu} = \frac{2.303}{\mu}$$

والجدول (8-1) يبين بعض قيم نصف السمك $t_{\frac{1}{2}}$ وعشر السمك $t_{1/10}$ لكل من الرصاص والماء.

جدول (8-1) قيم تقريبية لـ $t_{\frac{1}{2}}$ و $t_{1/10}$

| طاقة أشعة جاما MeV | ملي متر رصاص | | ملي متر ماء | |
|---|---|---|---|---|
| | $t_{\frac{1}{2}}$ | $t_{1/10}$ | $t_{\frac{1}{2}}$ | $t_{1/10}$ |
| 0.5 | 4 | 12.5 | 150 | 500 |
| 1 | 11 | 35 | 190 | 625 |
| 1.5 | 15 | 50 | 200 | 700 |
| 2 | 19 | 60 | 225 | 750 |

**مثال 8- 8:**

إذا علم أن معدل الجرعة قريبًا من صمام 160 مايكروسيفرت في الساعة، فإذا كان مصدر هذه الجرعة هو الكوبلت-60 داخل هذا الصمام، فما مقدار حاجز الرصاص الذي يجب وضعه حول الصمام لخفض معدل الجرعة إلى 10 مايكروسيفرت/ ساعة، علمًا بأن سمك نصف الرصاص لأشعة جاما من كوبلت-60 هو 12.5 ملم.

**الحل:**

المطلوب تخفيض معدل الجرعة من 160 مايكروسيفرت/ ساعة إلى 10 مايكروسيفرت/ ساعة، وهذا يعني خفضه بنسبة 16/1 (2 × 2 × 2 × 2 = 16)، ولهذا فالمطلوب هو 4 × 12.5 ملم رصاص= 50 ملم من الرصاص.

**مثال 8- 9:**

مصدر لكوبلت-60 يعطي معدل جرعة قدرها 400 مايكرو سيفرت/ ساعة على بعد 1م. ما المسافة من المصدر التي يجب أن يوضع فيها مانع، بحيث لا يزيد معدل الجرعة قرب المانع على 25 مايكروسيفرت/ ساعة؟ ما سمك الرصاص الذي يعطي الحماية نفسها عند وضعه حول المصدر؟ (سمك نصف الرصاص لأشعة جاما من كوبلت-60 هو 12.5 ملم).

(الجواب = 4 م، 50 ملم من الرصاص).

إن **حجز النيوترونات** معقد بسبب التفاوت الواسع في طاقتها التي تواجه عادة، وهذا يعني أن معدات الحجز ينبغي أن تأخذ في الحسبان تفاعلات لعدد من الطاقات المختلفة. وأهم هذه التفاعلات هي:

**(1) الاستطارة المرنة**: حيث يصطدم النيوترون مع نواة إحدى ذرات الهدف، ثم يرتد بطريقة تشبه تصادم كرتي لعبة البلياردو، وعند هذا التصادم يفقد النيوترون جزءاً من طاقته الابتدائية، حيث تنتقل هذه الطاقة إلى نواة الهدف، وتظهر كلها على شكل طاقة حركية. وتعد العناصر الخفيفة (ذات الوزن الذري المنخفض) هي الأمثل في تهدئة النيوترونات بواسطة الاستطارة المرنة؛ لذا تستخدم المواد التي تحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين (مثل الشمع والماء والخرسانة).

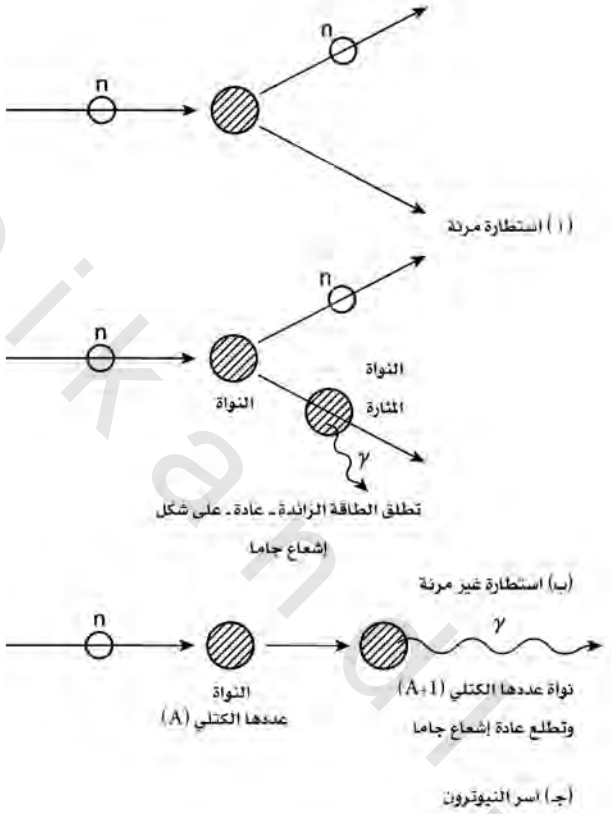
**(2) الاستطارة غير المرنة**: في هذه العملية تمنح النيوترونات الساقطة جزءًا من طاقتها إلى نوى ذرات المواد الحاجزة مؤدية إلى إثارتها، فتطلق هذه النوى -عادة- أشعة جاما بعد ذلك عند رجوعها إلى مستوى الاستقرار. إن عملية الاستطارة غير المرنة مهمة جدًّا في حالة النوى الثقيلة.

**(3) تفاعلات متنوعة للأسر النيوتروني**: في هذه التفاعلات تؤسر النيوترونات من قبل النوى التي تفقد إثارتها بعد ذلك بإطلاق جسيم آخر أو فوتون. ومن تفاعلات الأسر النيوتروني المهمة:

$$^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$$

وتكمن أهمية هذا التفاعل في حجز النيوترونات، وذلك أن الجسيم المنطلق (جسيم ألفا) يمكن امتصاصه بسهولة، ولهذا فإن خلط البورون-10 في الحاجز يؤدي إلى امتصاص النيوترونات، وناتج التفاعل الذي هو جسيمات ألفا لا يشكل أي مشكلة في الحجز بعد ذلك. وفي الحقيقة، فإن عامة تفاعلات الأسر النيوتروني تؤدي إلى إطلاق أشعة جاما شديدة الاختراق، مثل:

$$^{58}Fe(n,\gamma)^{59}Fe$$




شكل (8-2) التفاعلات الرئيسة الثلاث للنيوترون

ويعدّ أسر أشعة جاما المتولدة عاملاً مهمًّا في تصميم الحواجز الواقية، وفي العادة تخلط مواد عالية الوزن الذري في الحاجز لامتصاص هذه الأشعة. والشكل (8-2) يمثل رسماً تخطيطيًّا لتفاعلات النيوترون.

## 5.8 مصادر النيوترونات:

مفاعلات الانشطار النووي هي مصادر لفيض مرتفع من النيوترونات (انظر الفصل 10). ولكن هناك طرقًا عدة لإنتاج مصادر النيوترونات الصغيرة نسبيًّا، وتعتمد الأنواع الأكثر شيوعاً على التفاعل الآتي:

$$^{9}Be(\alpha,n)^{12}C$$

ومصادر النيوترونات المعتادة من هذا النوع تتكون من كمية من عنصر البريليوم المخلوط مع نويدة تطلق ∝، وهي عادة أمريسيوم-241 ($^{241}Am$) في قرص مغلق.

ففي مصادر $^{241}Am/^{9}Be$ تبلغ شدة المصدر نحو 70 نيوترونًا في الثانية للميجا بيكريل من $^{241}Am$. هذا وإن طيف النيوترونات المنطلقة من مصدر ألفا-بريليوم ليست لها طاقة واحدة ولكن لها قمتين بين الطاقات، في المدى من 3 إلى 6 ميجا إلكترون فولت، وبمعنى آخر فهذه المصادر تولد أساساً نيوترونات سريعة.

ومن التفاعلات الأخرى المستخدمة لإنتاج النيوترونات تفاعلات (γ,n) إذ تحتوي أكثر هذه المصادر على خليط من أحجام متساوية من الأنتيمون والبريليوم، بحيث تتفاعل أشعة جاما المنطلقة من الأنتيمون-124 مع نوى البريليوم مؤدية إلى إطلاق النيوترونات. ومن الجدير بالذكر أن النيوترونات المتولدة بواسطة عملية (γ,n) تعدّ في معظم الأغراض العملية أحادية الطاقة.

من أجل حساب الفيض على مسافة (نق) من مصدر شدته (م) تستعمل المعادلة الآتية (انظر الفصل 3):

$$\text{الفيض } (\phi) = \text{م}/(4 \text{ ط نق}^2)$$

**مثال 8- 10:**

احسب معدل الجرعة المكافئة على بعد 1م من مصدر أمريسيوم- بريليوم شدته 0.1 تيرا بيكريل. الواحد تيرا بيكريل من 241Am/Be يطلق $7 \times 10^{7}$ نيوترونات/ ثانية.

افترض أن $10^4$ نيوترونات/ م2ث = 1مايكروسيفرت/ ساعة.

(الجواب: 56 مايكروسيفرت/ ساعة).

## 6.8 التحكم في جرعات الأفراد:

إن التحكم الدوري في الجرعات التي يتعرض لها الأفراد العاملون في مجالات الإشعاع مبنية على نظام تصنيف المناطق، ويستخدم كثير من الأنظمة والمصطلحات لهذا الغرض، من أجل تصنيف المناطق بحسب أخطارها الإشعاعية. ففي المناطق التي لا يتوقع أن يزيد فيها التعرض على عشر الحد المسموح به للعاملين وهو 2 ملي سيفرت في السنة، ليس هناك من ضرورة لوضع ترتيبات خاصة، أما المناطق التي قد يزيد فيها تعرض العاملين على هذا المقدار مع عدم احتمال زيادته على ثلاثة أعشار الحد، وهي 6 ملي سيفرت في السنة، فتقترح الهيئة الدولية للوقاية الإشعاعية أن تسمى هذه المنطقة منطقة مراقبة، أما المناطق التي قد يزيد فيها التعرض على ثلاثة أعشار حد الجرعة المسموح به للعاملين فيطلق عليها مناطق متحكم فيها، إن العاملين الذين يدخلون المناطق المتحكم فيها بشكل رتيب، أو الذين يمكن أن يتعرضوا لجرعة تزيد على 6 ملي سيفرت/ سنة، يعرفون بمجموعة العاملين "أ"، أما بقية العاملين فيعرفون بمجموعة العاملين "ب"، وفي المناطق المتحكم فيها قد تكون هناك ضرورة للتأشير على أجزاء منها لتجنب التعرض الزائد للإشعاع، وفي بعض المؤسسات يطلق على المناطق الأخيرة "المناطق المقيدة".

ولهذا فإن النظام المعتاد للتصنيف يمكن أن يبنى على أربعة أنواع من المناطق:

**(1) مناطق غير متحكم فيها:** حيث لا يزيد معدل الجرعة على 1 مايكرو سيفرت/ ساعة، ويمكن للعاملين أن يشتغلوا فيها 40 ساعة أسبوعيًّا مدة 50 أسبوعيًّا في السنة، دون أن تزيد الجرعة على 2 ملي سيفرت في السنة.

**(2) مناطق مراقبة:** حيث لا يزيد معدل الجرعة عادة على 3 مايكرو سيفرت في الساعة، ولهذا فلن يزيد تعرض العاملين فيها على أكثر من ثلاثة أعشار حد الجرعة. وكما يفهم

من الاسم، فإن هذه المناطق معرضة لبعض أنواع المراقبة، والعاملون بانتظام فيها معرضون للمراقبة الشخصية الرتيبة.

(3) **مناطق متحكم فيها**: حيث يزيد معدل الجرعة فيها على 3 مايكرو سيفرت في الساعة، ويعرف العاملون باستمرار في مثل هذه المناطق بمجموعة العاملين "أ"، وهم معرضون للمراقبة الطبية والمراقبة الشخصية الرتيبة.

(4) **مناطق مقيدة**: حيث يزيد معدل الجرعة فيها على 10 مايكرو سيفرت في الساعة، والداخلون إلى هذه المناطق معرضون لتحذيرات خاصة، مثل تحديد مدة البقاء، واستخدام معدات واقية، وأجهزة مراقبة.

عند العمل بنظام تصنيف المناطق من الضروري عمل مسح للمنطقة بانتظام للتأكد من أن تصنيف المنطقة صحيح، وأن الاحتياطات اللازمة متخذة. وفي المناطق المتحكم فيها والمقيدة لا بد من حمل شارة فيلم، أو مقياس جرعات حراضوئي (TLD) لقياس مقدار الجرعة المتجمعة للعامل، إضافة إلى ذلك يحمل عادة أحد الأجهزة المباشرة لقياس معدل الجرعة مثل معدال الجرعة الشخصي الإلكتروني لإعطاء قراءات آنية في أي لحظة.

## 8-7 مراقبة المسح الإشعاعي:

### 8-7-1 إجراء المراقبة بالمسح الإشعاعي:

وهذه تجري:

(1) عند البدء في تشغيل أي منشأة لاختبار كفاءة الحواجز الواقية فيها، وللتأكد من أن مستويات الإشعاع مقبولة.

(2) كلما أجريت تغيرات قد تؤثر على مستويات الإشعاع، مثل التغيرات في ترتيب (الماكينات) وفي ترتيب الحواجز.

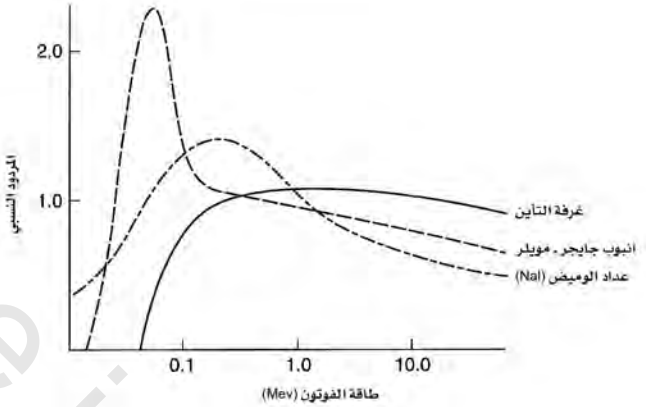
(3) تجرى المراقبة بصورة دورية ـ خلال التشغيل ـ وذلك لتقرير مستويات الإشعاع في أثناء العمل من أجل التحكم في الجرعة المتراكمة.

يجب أن يكون المرقاب المثالي للمسح الإشعاعي قادراً على مراقبة جميع أنواع الإشعاعات الاختراقية، وأن يكون خفيف الحمل، سهل الاستعمال، ويعطي معدل الجرعة المؤثرة. ولا يمكن عمليًّا تصميم جهاز واحد تتوافر فيه كل هذه الصفات لجميع أنواع الإشعاع، ولهذا فقد طور كثير من الأجهزة للأنواع المختلفة من الإشعاع.

### 8-7-2 مراقب الأشعة السينية وأشعة جاما:

من أنواع المراقب ما يمكنه قياس الأشعة السينية وأشعة جاما، بل قد تكون له القدرة كذلك في تحسس أشعة بيتا وإعطاء قيمة تقريبية لها. وتعتمد طريقة الكشف عن الإشعاع في هذا المرقاب على الحساسية المطلوبة، حيث يمكن استخدام غرفة التأين فقط عند المستويات التي لا يقل الإشعاع فيها عن عشرات المايكرو سيفرت/ ساعة. أما في الحالات التي يقل فيها المستوى الإشعاعي عن ذلك، فإن غرفة التأين المطلوبة ستكون كبيرة جدًّا لا تصلح للاستخدام المتنقل؛ لذا يمكن زيادة الحساسية باستخدام أنبوبة جايجر–مويلر أو كاشف وميض مع دائرة كهربائية لقياس معدل النبضات.

واستجابة أجهزة قياس معدل جرعة الأشعة السينية أو أشعة جاما للطاقة مهم، ويبين الشكل (8-3) استجابة مثالية لكل من غرفة التأين وأنبوبة جايجر–مويلر وكاشف وميض، ويلاحظ أن غرفة التأين لها استجابة ثابتة نسبيًّا للطاقات من 0.3 إلى 10 ميجا إلكترون فولت، في حين لاستجابة كل من أنبوبة جايجر–مويلر وكاشف الوميض قمة في مدى الطاقة المنخفضة. ويتم عادة معايرة مرقاب المسح باستعمال مصدر راديوم-226 ذي طاقة فوتون مؤثرة قدرها 0.8 ميجا إلكترون فولت.




شكل (8-3) منحنيات مردود الطاقة لكواشف مختلفة

وإذا ما استخدم أحد الجهازين المذكورين في قياس إشعاعات مختلفة الطاقة فقد يكون معدل الجرعة المسجل أكثر من الواقع أو يقل كثيراً عنه. وقد أدخلت حديثاً أدوات تعويض في الأجهزة التي تستخدم كاشف وميض أو كاشف جايجر-مويلر من أجل إعطاء استجابات ثابتة نسبيًّا في مدى الطاقات ما بين 0.1 إلى 3 ميجا إلكترون فولت.

يظهر الشكل (8-4) مرقاباً حديثاً لقياس المستوى الإشعاعي لكل من بيتا والأشعة السينية وأشعة جاما، وفيه مواصفات عدة حديثة من ضمنها الاختيار الآلي لمعدلات المستوى الإشعاعي وتجهيزات إدخال المعلومات.

شكل (8-4) جهاز مسح إشعاعي مطور

### 8-7-3 مراقب النيوترونات:

النيوترونات لا تؤين الذرات مباشرة؛ لأنها لا تحمل أي شحنة، ولهذا وجب استخدام طرق غير مباشرة لإحداث التأين. ويتم الكشف عن النيوترونات السريعة بجعلها تتفاعل أولاً مع مواد تحتوي نسباً عالية من ذرات الهيدروجين، حيث تصطدم النيوترونات بالبروتونات في المواد الهيدروجينية، فيكشف عن التأين المتسبب بهذه البروتونات. وتستخدم مراقب النيوترونات السريعة عداداً تناسبيًّا مع بعض المواد الهيدروجينية المقحمة فيه كالبولثين. وحساسية هذه الأجهزة منخفضة جدًّا، ويصعب الكشف بها عن المستويات الإشعاعية التي تقل عن 50 مايكرو سيفرت في الساعة.

والتفاعل المستخدم عمومًا للكشف عن النيوترونات الحرارية هو:

$$^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$$

وللبورون-10 مقطع عرضي كبير في إمكانية أسر النيوترونات الحرارية، وتؤدي جسيمات ألفا المنطلقة إلى إحداث تأين يمكن كشفه بعد ذلك ومراقب النيوترونات الحرارية الأكثر شيوعاً هو غرفة تأين مغطاة بطبقة من البورون، أو عداد تناسبي مملوء بغاز فلوريد البورون الثلاثي ($BF_3$).

وتنخفض استجابة الأجهزة التي تستخدم تفاعل البورون كثيراً عند النيوترون الذي تزيد طاقته على عدة إلكترون فولت، في حين يبدأ القياس في الأجهزة التي تستخدم تفاعل البروتون المرتد عند الطاقات التي تزيد على 100,000 إلكترون فولت (0.1 مليون إلكترون فولت)، ولم يكن هناك جهاز يستطيع قياس النيوترونات المتوسطة الطاقة سنوات عدة، وقد أصبح معلومًا أن لهذه النيوترونات مشاركة ملحوظة في جرعة النيوترونات حول المفاعلات النووية، وتم خلال العقود القليلة الماضية تطوير أجهزة تستطيع قياسها. يجري التأكيد حالياً على الأجهزة التي تقيس الجرعة التي يتعرض لها

النسيج نتيجة للنيوترونات المختلفة الطاقة، أي ما بين النيوترونات الحرارية وحتى 15 ميجا إلكترون فولت. وأحد هذه الأجهزة مصور في (الشكل 8-5) وله أسطوانة من البوليثين تقوم بإبطاء النيوترونات السريعة بواسطة التصادم المرن، وقد ثبتت سلسلة من مرشحات الكادميوم داخل كرة البوليثين لإعطاء استجابة صحيحة للطاقة، ويتم الكشف عن النيوترونات الحرارية بواسطة عداد تناسبي مملوء بغاز الهيليوم.

يؤدي أسر النيوترون إلى إطلاق بروتون حسب المعادلة الآتية:

$$^{3}He(n,p)^{3}H$$

حيث يرمز $^{3}H$ إلى نظير للهيدروجين يسمى تريتيوم، ومرة أخرى يحدث التأين بواسطة البروتون. ويفضل هذا الجهاز عادة على الأجهزة التي تستخدم تفاعل البورون-10 لأن الجهاز الأول أقل حساسية لأشعة جاما.

شكل (8-5) مرقاب نيوتروني

## 8-8 معدات المراقبة الشخصية:

### 8-8-1 الجرعات الشخصية:

تستخدم مراقب المسح الإشعاعي للتعرف على مستويات الإشعاع في مناطق المختبرات المختلفة أو حول المفاعلات، وهي ليست طريقة دقيقة لتقييم الجرعة المتجمعة التي يتعرض لها العاملون في هذه المناطق، وذلك للأسباب الآتية:

(أ) من المتوقع تغير معدل الجرعة بصورة كبيرة مع الزمن اعتماداً على نوع التشغيل الجاري.

(ب) يتحرك العاملون عادة في أثناء أدائهم لأعمالهم هنا وهناك فينتقلون من مستوى إشعاعي إلى مستوى آخر.

وللتغلب على هذه الصعوبات، يعلق العاملون في العادة عند دخولهم المناطق الإشعاعية **مقياساً للجرع الشخصية**، وهو أداة تقيس الجرعة المتراكمة عند حاملها، وهناك أنواع عدة من مقاييس الجرعات الشخصية مستخدمة حالياً.

### 8-8-2 شارة الفيلم:

هذا النوع من مقاييس الجرعات الشخصية هو الأكثر شيوعاً، ويحوي قطعة من فيلم فوتوغرافي موضوع في حامل خاص. وشارة الفيلم هي إحدى الطرق المقبولة في مراقبة الجرعة الإشعاعية لكل الجسم، وذلك من أجل السجل الدائم، حيث يمكن حفظ الفيلم المحمض، والقيام بفحصه ثانية إذا ما دعت الضرورة لذلك.

وتحوي شارة الفيلم المستخدمة في المملكة المتحدة أفلام كوداك RM (Radiation Monitoring) في حامل خاص. ويتكون الفيلم من طبقتين من المستحلب الفوتوغرافي[1]: أحدها عالي الحسية على جهة والآخر منخفض الحسية على الجهة الأخرى. وتقدر

(1) المستحلب الفوتوغرافي: هو الطبقة الحساسة التي تطلى بها سطوح الأفلام.

درجة الاسوداد على الفيلم المحمض باستخدام مقياس الكثافة الضوئية حيث ترتبط الدرجة بمقدار التعرض الإشعاعي للفيلم. واستخدام طبقتين من المستحلب يسمح بقياس مدى واسع من الجرعات، فالمستحلب السريع يسمح بقياس الجرعات من 50 مايكرو سيفرت إلى نحو 50 ملي سيفرت، فإذا ما كانت الجرعات المتعرض لها تزيد على 50 ملي سيفرت، فان جزءاً من المستحلب السريع ينقشع من الفيلم، فيسمح للمستحلب البطيء بقياس الجرعات حتى 10 سيفرت.

والحامل المذكور مصور في الشكل (8-6) وتظهر فيه مرشحات عدة تمكن من قياس جرعات $\beta$ و $\gamma$ وx والنيوترونات الحرارية. تقاس بيتا أساساً في قطعة الشباك المفتوح، أما جاما فتقاس أسفل الرصاص، والنيوترونات الحرارية تقاس بأخذ الفرق بين مرشحات (الرصاص + الكادميوم) و(الرصاص + القصدير)، فالنيوترونات الحرارية تتفاعل مع الكادميوم (n,γ) فتعطي أشعة جاما المنطلقة في هذا التفاعل زيادة في الاسوداد أسفل مرشح الكادميوم، ويقوم المرشحان 300 ملغم/ سم$^2$ و50 ملغم/ سم$^2$ بالتصحيح المطلوب للطاقة لكل من جرعات $\beta$ وγ. أما إطار الرصاص الذي حول الحامل فقد وضع للتقليل من تأثير الحافات على حدود المرشحات المختلفة. وتعمل رقيقة الأنديوم (بوصفها مؤشرًا للتعرض) للحوادث الحرجة، فالجرعة التي تزيد على 10 ملي سيفرت من النيوترونات الحرارية تؤدي إلى تنشيط الأنديوم إلى درجة تسمح لقياس نشاطه باستخدام أنبوبة جايجر ـ مويلر.

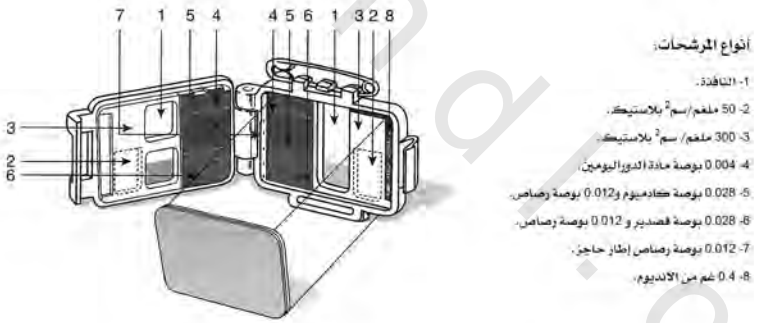
### 8-8-3 مقاييس الجرعات الحراضوئية:

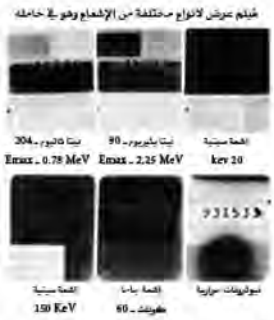
توفر المواد الحراضوئية وسيلة دقيقة وسريعة لقياس الجرعات اليومية، وصار لها تطبيقات لمراقبة كل الجسم أو الأطراف. إن تأثير الأشعة المؤينة على المواد الحراضوئية وطريقة قراءتها قد فصلت في الفصل السابع، ومن مساوئ هذه التقنية أن عملية قراءة الجرعة تمسح المعلومات، ولهذا فهي تختلف عن شارة الفيلم حيث لا يمكن قياس الجرعة

فيها إلا مرة واحدة فقط. وإن المقاييس الحراضوئية تعطي معلومات أقل عن نوعية الإشعاع أيضاً.

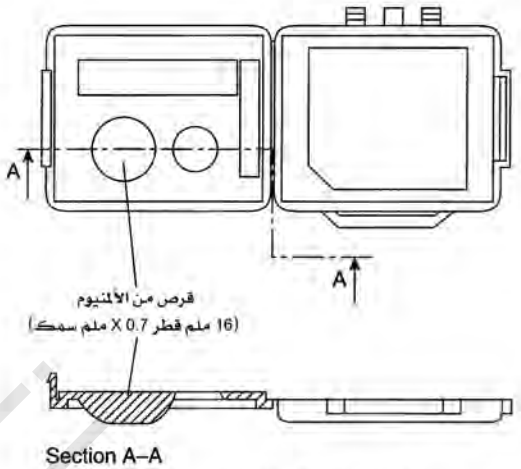
هناك مادتان حراضوئيتان مستخدمتان حالياً، وهما فلورات الليثيوم وفلورات الكالسيوم، فالأخيرة حساسة جداً ولكن استجابتها للطاقة ضعيفة، في حين فلورات الليثيوم أقل حساسية منها، ولكن استجابتها للطاقة ممتازة. وفي الأجهزة العملية لقياس الجرعات تستخدم مواد حراضوئية على شكل مسحوق أو أقراص.

لقد حلت مقاييس الجرعات الحراضوئية في بعض المؤسسات بدل شارة الفيلم بوصفها طريقة رئيسة لقياس الجرعات الشخصية. وفي معظم الأحيان، تستخدم مقاييس الجرعات الحراضوئية بوصفها مكملة لشارة الفيلم، حيث تقوم بإعطاء طريقة سهلة ودقيقة لقياس الجرعات على المدى القصير. الشكل (8-7) يوضح مقياس جرع حراضوئي.




شكل (8-6) شـــارة الفيـــلم




شكل (8-7) مجراع حراضوئي

### 8-8-4 مقياس الجرعات الإلكتروني:

تتوافر أنواع عدة من مقاييس الجرعات الإلكتروني منذ عقود عدة ومعظمها مصنع من أنابيب صغيرة جايجر ـ مويلر تعرض قراءة مباشرة إما لمعدل الجرعة أو للجرعة المتراكمة، وتحتوي هذه المقاييس في معظم الأحيان على جرس يعطي إنذاراً في حال معدل الجرعات المرتفعة أو إذا وصلت الجرعة إلى جرعة محددة مسبقاً، واستخدام هذه الأجهزة الرئيس هو لإعطاء مقياس للجرعة وللتحكم في موقع العمل.

وهناك جيل جديد من مقاييس الجرعات الإلكتروني متوافر حاليًّا يستخدم كواشف الحالة الصلبة مستفيداً من التطور في تقنية المعلومات ولهذه الأجهزة ذاكرة يمكن برمجتها لأداء أعمال متنوعة مثل إدخال الجرعات لمهمة معينة أو خزن المعلومات حول صفات مجال إشعاعي، ويمكن استخدامها بوصفها أحد أشكال مراقبة الدخول الذي يعطي دخولاً مسجلاً للمناطق المتحكم فيها. لهذا، فإن لهذه الأجهزة ميزة الجمع بين التحكم في جرعات التشغيل ومهام قياس الجرعات طويلة الأمد للأغراض النظامية. والشكل (8-8) يظهر مقياس جرعات إلكتروني حديث.

ومن مساوئ هذه الأجهزة مقارنة بشارة الفيلم أو المقاييس الحراضوئية أنها غالية الثمن نسبيًّا في البداية، وكبيرة الحجم، وعرضة للتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية.

شكل (8-8) مجراع إلكتروني متوافر تجاريًّا

### 8-8-5 مقياس جرعات النيوترونات السريعة:

إن لوحة أثر النيوترون السريع تحتوي على فيلم خاص مدمج في حامل يشبه في الظاهر شارة الفيلم. تتفاعل النيوترونات السريعة مع المادة الأساسية للفيلم مؤدية إلى إطلاق بروتونات مرتدة، وهذه من ثم تولد آثار تأين في المستحلب يمكن رؤيتها بعد تحميض الفيلم، وبحساب هذه الآثار تحت المجهر يمكن اعتبار عدد الآثار بالسنتيمتر المربع مقياساً للجرعة النيوترونية.

لوحات الآثار لها مدى جرعة يتراوح بين 1 ملي سيفرت وحتى 1 سيفرت، وما يعيبها أن القياس فيها ممل ومكلف، إضافة إلى أنها حساسة لأشعة جاما، فجرعة 100 ملي سيفرت تقريباً من أشعة جاما تجعل عملية عد الآثار مستحيلة[1].

### 8-8-6 مدلاة الخطر:

(1) تستخدم كواشف الآثار النووية (NTDs) حديثاً لقياس جرعات كل من النيوترونات السريعة والحرارية في بعض المراكز. ومن مميزاتها أنها غير حساسة لأشعة جاما.

تلبس مدلاة (قلادة) الخطر إضافة إلى شارة الفيلم حيثما تتداول المواد الانشطارية (القابلة للانشطار مثل قضبان الوقود وبرك التبريد والمفاعلات) وهي مصممة لقياس الجرعات النيوترونية العالية جدًّا التي قد تواجه في أثناء الحوادث الخطرة. إن مدلاة الخطر تحتوي على مركبات تنشط بالنيوترونات المختلفة الطاقة، فالتفاعلات المستخدمة في هذا المقياس هي:

$^{32}S(n,p)^{32}P$ (كبريت) S، (فوسفور) P

$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$ (ذهب) Au

$^{115}In(n,n)^{115}In$ (إنديوم) In

كل هذه المركبات المنشطة تطلق جسيمات بيتا يمكن عدها في جهاز كشف محجوز بشكل مناسب. ومن هذا العد يمكن تقدير جرعات كل من النيوترونات السريعة والمتوسطة والحرارية.

## 8-8-7 كاشفات ألياف الكوارتز الكهربائي:

كاشفات ألياف الكوارتز الكهربائي هي مقاييس للجرعات يحمل الواحد منها في الجيب، ويعطي باستمرار قراءة مشاهدة لجرعة جاما المتراكمة. ويتركب هذا الكاشف من مجموعة من الخيوط الزجاجية في غرفة تأين صغيرة ومكبس ملقم بنابض لشحن الكاشف الكهربائي وعدسة مجهر ترى من خلالها الخيوط الزجاجية ومقياس مدرج بالملي سيفرت. يشحن الكاشف الكهربائي بتسليط جهد إلى القطب المركزي، فيؤدي بخيوط الكوارتز إلى الانفراج. وعند التعرض لأشعة جاما، يتأين الغاز داخل الغرفة، فتقل الشحنة على القطب، ولهذا يقل انفراج خيوط الكوارتز، فيعطي التغير في الانفراج مقدار الجرعة.

إن كاشفات خيوط الكوارتز الكهربائية متوافرة بحساسية تتراوح من 1 ملي سيفرت للانفراج الكامل وحتى 100 سيفرت.

ولقد وفر هذا الجهاز ـ سنوات عدة ـ وسيلة رخيصة وبسيطة ومعتمدة للتحكم في جرعة التشغيل، ولكن حل محلها الآن جيل جديد من مقاييس معدلات الجرع الشخصية الإلكترونية نوقشت في مبحث (8-8-4).

## 8-9 سجلات الإشعاع:

الغرض من قياس الجرعات الشخصية، هو التأكد من عدم تعرض العاملين في المجالات الإشعاعية لجرعات تزيد عن تلك المنصوص عليها في التشريعات المعنية أو في قواعد العمل، وتجهز هذه المقاييس في معظم البلدان من قبل مختبرات موثقة ماعدا المقاييس السريعة للجرعات.

والمختبر المصرح له بقياس الجرعات يقوم بالمهام الآتية:

(1) إصدار شارات الأفلام ومقاييس الجرعات الحراضوئية وكذلك أي مقاييس أخرى للجرع الشخصية (مثل لوحات أثر النيوترون السريع) التي قد تكون ضرورية.

(2) معاملة هذه الأفلام وتقييمها بعد إعادتها.

(3) إصدار تقارير الجرعات والمحافظة على السجلات.

لقد أنشأ بعض أصحاب العمل الذين يشتغل لديهم عدد كبير من العاملين الحاملين لمقاييس الجرعات الشخصية مختبراتهم الخاصة لمعاملة الأفلام، أما غيرهم فيعتمدون على الهيئات المتخصصة كالمجلس الوطني للحماية الإشعاعية في المملكة المتحدة.

إن شارات الفيلم والمقاييس الحراضوئية هي الطريقة المقبولة على نطاق واسع في الوقت الحاضر للأغراض القانونية بين طرق عدة لقياس الجرعات الشخصية، وتعامل عادة كل شهر، ثم تسجل النتائج في سجل الجرعات الشخصية للعامل. إضافة إلى ذلك،

يصدر ملخص ربع سنوي لكل مستخدم تلخص فيه الجرعة الإشعاعية الكلية المتراكمة له خلال حياته العملية.

وكما ناقشنا في المبحث 8-8-4 فإن مقاييس الجرعات الإلكترونية طورت إلى درجة يصلح معها استخدامها في نظام للجرعات المصرح بها، ولكنها إلى الآن لا تستخدم لهذا الغرض على نطاق واسع.

obeikandl.com

**خلاصة الفصل:**

**أخطار الإشعاع الخارجي**: تأتي من المواد المشعة الموجودة خارج الجسم.

**التحكم في الأخطار الخارجية**: الزمن والمسافة والحاجز الواقي.

**الزمن**: الجرعة= معدل الجرعة × الزمن.

**المسافة**: قانون التربيع العكسي

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

**معدل الجرعة من مصدر جاما**: $D = \frac{ME}{6r^2}$ بالمايكرو سيفرت/ ساعة

حيث M بوحدات الميجابيكريل (MBq).E بوحدات الميجا إلكترون فولت (MeV) و r بوحدات المتر (م).

**الحجز: جسيمات ألفا**: من السهل جدًّا امتصاصها.

**أشعة بيتا**: تستخدم مواد واطئة الوزن الذري للتقليل من أشعة الكبح.

**أشعة جاما**: تنخفض أسيًّا حسب المعادلة

$$D_t = D_o e^{-\mu t}$$

**سمك نصف القيمة**: $t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\mu}$

**حجز النيوترونات**: استطارة مرنة واستطارة غير مرنة وأسر النيوترون.

**مصادر النيوترونات**: تعتمد إما على تفاعلات $(\alpha,n)$ أو على تفاعلات $(\gamma,n)$.

**تصنيف المناطق**: منطقة غير متحكم فيها وأخرى مراقبة وثالثة متحكم فيها ورابعة مقيدة.

**مراقب المسح الإشعاعي**: مراقب الأشعة السينية وأشعة جاما تستخدم غرف التأين أو أنابيب جايجر-مويلر أو كاشفات الوميض.

**مراقب النيوترونات**: تغطي الطاقات الحرارية حتى 15 ميجا إلكترون فولت، ويستخدم التفاعل $^{3}He(n,p)^{3}H$ لإعطاء تمييز جيد عن جاما.

**مقاييس الجرعات الشخصية:**

**شارة الفيلم**: فيلم خاص بطبقتين من المستحلب الفوتوغرافي تغطي الجرعات من 50 مايكرو سيفرت وحتى 10 ملي سيفرت، والفيلم موضوع في حامل مع مرشحات تسمح بقياس بيتا وجاما والأشعة السينية والنيوترونات الحرارية.

**مقاييس الجرعات الحراضوئية**: حيث تخزن طاقة الأشعة، ويمكن بعد ذلك إطلاقها بالتسخين. وبقياس الضوء المتحرر باستخدام أنبوب المضاعفة الضوئي، والإشارة الكهربائية الخارجة من الأنبوب تمثل قياسًا للجرعة الإشعاعية.

**مقياس الجرعات النيوتروني**: مبني على كواشف الحالة الصلبة، وتعطي قياساً مباشراً قصيراً وطويل الأمد.

**لوحة أثر النيوترون السريع**: فيلم خاص في حامل. تطلق النيوترونات السريعة بروتونات ارتدادية تؤدي إلى آثار في المستحلب يمكن إظهارها بالتحميض. عيبه الرئيس كلفة تقييم لوحات الأثر.

**مدلاة الخطر**: تقلد عند مداولة مواد انشطارية ومركباتها المتنوعة، تنشط بالنيوترونات المختلفة الطاقة، ويمكن بعدها معرفة النشاط الإشعاعي باستخدام قلعة بيتا.

**كاشف خيوط الكوارتز الكهربائي**: غرفة تأين حيبي يعطي قراءة مستمرة للجرعة المتجمعة من جاما.

## أسئلة للمراجعة:

(1) ما الوسائل الثلاث التي يمكن عن طريقها التحكم في أخطار الإشعاع الخارجي؟

(2) يتحتم على عامل أن يعمل في منطقة معدل الجرعة فيها 10 مايكرو سيفرت/ ساعة وذلك لإنجاز مهمة معينة. كم عدد الساعات التي يستطع أن يشتغلها هو أو هي في المنطقة نفسها أسبوعيًّا بشرط ألا تزيد الجرعة المتجمعة على 100 مايكرو سيفرت في الأسبوع؟ إلى أي حد يجب أن يكون معدل الجرعة كي يسمح للعامل أن يشتغل في المنطقة 40 ساعة أسبوعيًّا؟

(3) احسب معدل الجرعة المكافئة على بعد 1م من مصدر كوبلت - 60 شدته 540 مليون بيكريل. على أي بعد يكون معدل الجرعة المكافئة 25 ملي سيفرت/ ساعة؟

(4) إذا علم أن معدل الجرعة على بعد 1م من مصدر معين لأشعة جاما هو 360 مايكرو سيفرت/ ساعة، على أي بعد من المصدر يكون معدل الجرعة 10 مايكرو سيفرت/ ساعة؟

(5) احسب معدل الجرعة التقريبي على بعد 2م من مصدر جاما شدته 3000 مليون بيكريل ويشع فوتونًا واحدًا طاقته 1.6 مليون إلكترون فولت في كل تحلل.

(6) ناقش مشكلة الكشف عن النيوترونات، مبينًا كيفية التغلب عليها في حالة مراقب النيوترونات الحديثة.

(7) اذكر الأنواع الرئيسة لمقاييس الجرعات الشخصية، ثم ناقش مزايا ومساوئ كل من: شارة الفيلم، ومقياس الجرع الحراضولي، ومقياس الجرع الإلكتروني.

obeikandl.com

# الفصل التاسع

# أخطار الإشعاع الداخلي

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل التاسع

# أخطار الإشعاع الداخلي

## 9-1 المواد المشعة المكشوفة:

عندما توضع مادة مشعة في أحد أنواع الأواني المغلقة (الحاويات) فقد تكون خطراً إشعاعيًّا خارجيًّا للأشخاص العاملين في جوارها. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون المادة المشعة غير معبأة (مكشوفة) بأي شكل من الأشكال، فتشكل حينئذ احتمال **خطر إشعاعي داخلي**. ويشار إليه عادة **بالتلوث**.

والكمية الصغيرة من المادة المشعة لا تمثل أي خطر خارجي يذكر، ولكن يمكنها أن تقود إلى معدل جرعة ملحوظ متى ما لامست الجسم أو دخلته، فعندما تدخل المادة الجسم تستمر في تشعيعه حتى تضمحل أو يطرحها الجسم، ويعتمد معدل الاضمحلال الإشعاعي على عمر نصف النظير، الذي يتباين من جزء صغير من الثانية وحتى آلاف عدة من السنين، أما معدل طرح الجسم للمادة فيعتمد بشكل رئيس على صفاتها الكيميائية؛ لذا فقد يتم ذلك في أيام عدة، أو قد يستغرق وقتاً أطول قد يصل إلى سنوات عدة. ولهذا عندما تدخل مادة مشعة في الجسم، فقد تعرضه للإشعاع أيامًا عدة فقط أو مددًا قد تمتد سنوات عدة في حالة بعض النويدات.

## 9-2 منافذ تلوث الجسم:

هناك أربعة منافذ يمكن عن طريقها أن يشكل التلوث خطراً على الجسم ألا وهي:

( أ ) **التنفس** المباشر للهواء الملوث.

(ب) **الهضم** الذي يتم عن طريق الفم.

(جـ) النفوذ عن طريق الجلد، أو عن طريق جرح ملوث.

( د ) التشعع المباشر للجلد.

عندما يكون الجو ملوثاً، فإنه يستنشق من الرئتين، فيصل جزء منه إلى الدم، وجزء آخر يُبلع بعدما يخرج من الرئتين، أما الباقي فيطرد في عملية الزفير. إن نسبة ما يصل إلى الدم أو الذي يُبلع أو المطرد في عملية الزفير تعتمد على عوامل عدة، مثل: التركيب الكيميائي أو الفيزيائي للتلوث وإلى أيض[1] ووظائف أعضاء جسم الشخص المتعرض. ومثل ذلك، عندما يهضم التلوث يمر جزء منه إلى مجرى الدم عن طريق جدار القناة الهضمية، ويعتمد مقدار هذا الجزء على طبيعة التلوث وعلى أيض الأعضاء ووظائفها.

هناك تباين كبير في الصفات الفسيولوجية للبشر، لهذا فقد عرفت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية، **الرجل المرجع**، (رجل الإسناد) في نشرتها رقم 23، وبعض هذه الصفات مسجلة في الجدول (9-1)، حيث يمكن مثلاً ملاحظة أن الرجل المرجع يتنفس 23م$^3$ من الهواء في اليوم، ويشرب ما مجموعه ثلاثة لترات من الماء يومياً. والرجل المرجع: هو شخصية افتراضية تمثل صفاته متوسط شريحة واسعة من الصفات البشرية المتباينة جداً.

وعام 2003م نشرت الهيئة تقريراً جديداً (منشور ICRP رقم 89 بعنوان: معلومات أساسية لتشريح الأعضاء ووظائفها، للاستخدام في الحماية الإشعاعية: قيم قياسية) توسع وتحدث المعلومات المنشورة في 23. وتنتقل من التأكيد الماضي على الرجل المرجع إلى توفير سلسلة قيم قياسية للجنسين الذكر والأنثى، مقسمة إلى ستة أصناف عمرية هم: حديثو الولادة، وسنة واحدة، وخمس سنين، وعشر سنين، وخمس عشرة سنة. والبالغون. ومن أراد هذا المستوى من التفصيل ينبغي له مراجعة النشرة 89.

لقد أُشير آنفاً إلى أن قَدَر أي نويدة مشعة داخل الجسم يعتمد على صفاتها الكيميائية والفيزيائية، فمثلاً تتوزع بعض العناصر بالتساوي إلى حد ما، فيتشعع كل الجسم بالمعدل نفسه تقريباً. أما معظم العناصر فتميل إلى التركز في عضو معين ما يؤدي

(1) الأيض: مجموعة العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ودثورها، وبخاصة التغيرات الكيميائية في الخلية الحية التي تؤمن الطاقة الضرورية للعمليات والأنشطة الحيوية، التي تمثل المواد الجديدة للتعويض عن المندثر منها.

إلى تباين معدلات الجرعات للأعضاء المختلفة في الجسم، وأمثلة ذلك عنصر اليود الذي يتركز في الغدة الدرقية، والبلوتونيوم الذي يتركز في الرئة أو العظم.

**جدول (9-1) بعض صفات الرجل المرجع.**

**(أ) أعضاء الرجل المرجع:**

| العضو | الكتلة (كغم) | نسبته المؤوية لسائر الجسم |
|---|---|---|
| سائر الجسم | 70 | 100 |
| هيكل عظمي | 10 | 14 |
| عضل | 28 | 40 |
| شحم | 13.3 | 19 |
| دم | 5.5 | 7.9 |
| القناة الهضمية (مع محتوياتها) | 0.2 | 3.1 |
| الغدة الدرقية | 0.02 | 0.029 |

**(ب) توازن الهواء والماء:**

| المقدار المتناول من الماء | لتر/ يوم | المطروح | لتر/ يوم |
|---|---|---|---|
| في الغذاء | 0.7 | بول | 1.4 |
| في السوائل | 1.95 | عرق | 0.65 |
| في الأكسدة | 0.35 | غير مدركة (لا شعورية) | 0.85 |
| | | براز | 0.1 |
| المجموع | 3.0 | المجموع | 3.0 |

**موازنة الهواء:**

| | |
|---|---|
| السعة الحيوية للرئتين 4.3 لتر | |
| الهواء المستنشق خلال ساعات العمل الثمانية | 9.6 م$^3$ |
| الهواء المستنشق خلال 16 ساعة في غير العمل | 13.2 م$^3$ |
| المجموع | 23 م$^3$ يوميًّا |

إن هذه القيم هي للذكر البالغ، أما القيم للأنثى البالغة فهي أقل من ذلك في معظم الأحيان. وللحصول على المعلومات الكاملة عن مواصفات الرجل المرجع؛ انظر المنشور الثالث والعشرين، الصادر عن الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية.

يتناسب معدل الجرعة لأي عضو مع كمية المادة المشعة في ذلك العضو، ويقل باضمحلال أو بطرح النظير المشع. فاضمحلال النويدة يتناقص أسِّيًّا مع الزمن، وإن معدل طرح معظم المواد من الجسم هو أيضاً أسِّي تقريباً، وهذا يعني أنه يمكن استخدام **ثابت الاضمحلال المؤثر** الآتي لتوضيح معدل إزالة المادة المشعة من الجسم (انظر الشكل 9-1):

$$\lambda_{eff} = \lambda_r + \lambda_b$$

حيث:

$\lambda_r$ : ثابت الاضمحلال الإشعاعي.

$\lambda_b$ : ثابت الاضمحلال الإحيائي.

ولأن ثابت الاضمحلال = $\frac{Log\ 2}{\text{عمر النصف}}$ ، فيمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي:

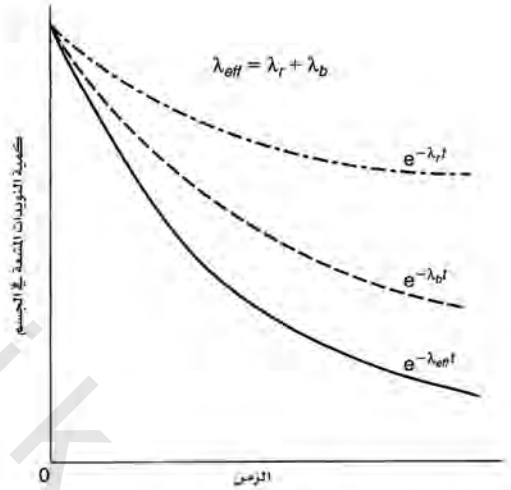
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$$

حيث:

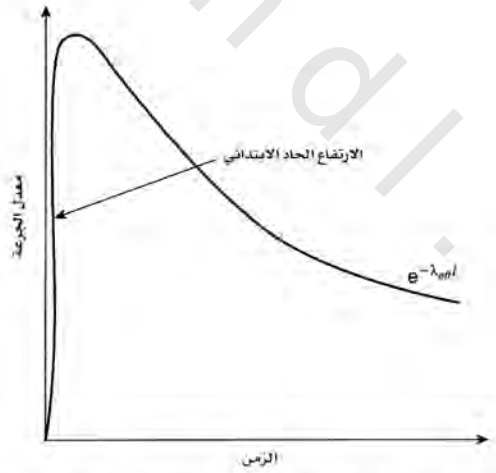
$T_{eff}$ = عمر النصف المؤثر للمادة المشعة في الجسم.

$T_r$ = عمر النصف الإشعاعي للمادة.

$T_b$ = عمر النصف الإحيائي للمادة.




شكل (9-1) منحنى مثالي لتخلص الجسم من نويدة مشعة




شكل (9-2) تغير معدل الجرعة مع الزمن بعد أخذ نويدة مشعة

يوضح الشكل (9-2) تغير معدل الجرعة مع الزمن بعد أخذ نظير مشع، حيث يغطي الارتفاع الحاد الابتدائي في المنحنى المدة التي يتم خلالها انتقال النويدات إلى العضو قيد المعاينة. أما القمة فتحصل عندما تصل معظم النويدات إلى هذا العضو، حيث

يتعرض إلى أعلى معدل للجرعة، ويتناقص بعدها معدل الجرعة أسّيًّا بتحلل النويدات المشعة وبطرحها. ويمكن إيجاد الجرعة الكلية التي يتعرض لها العضو بحساب المساحة التي تحت المنحنى، ولهذا فإن أخذ مقدار معين من نويدة مشعة سيعرض العضو (أو الأعضاء) إلى خطر مواجهة جرعة معينة تعرف **بالجرعة المكافئة الملزمة** (المتعهدة). وتعتمد هذه الجرعة على معدل الجرعة الابتدائية وعلى معدل الإزالة. ومما يفترض عادة أن أخذ كمية محددة من نويدة معينة يؤدي إلى الجرعة المودعة نفسها إذا ما أخذت تلك الكمية بوصفها جرعة واحدة كبيرة، أو أخذت على شكل جرعات صغيرة متعددة، وباستخدام معامل النسيج النوعي يمكن التعبير عن الجرعة المكافئة الملزمة بدلالة الجرعة المؤثرة الملزمة.

إن الجرعة التي يتعرض لها الإنسان نتيجة أخذ معظم النظائر المشعة، تحدث خلال مدة قصيرة تتراوح عادة بين أشهر عدة إلى سنوات عدة؛ لأن النشاط الإشعاعي لهذه النظائر يضمحل بعد هذه المدة أو تطرح، أما بالنسبة إلى بعض النظائر المشعة ذات أعمار الأنصاف الطويلة –مثل نظائر البلوتونيوم– فإنها تطرح من قبل الجسم بشكل بطيء جدًّا؛ لهذا فإنها تعرض الجسم لجرعة مدة طويلة جدًّا، وفي هذه الحالة فإن الجرعة المكافئة الملزمة تعرف على أنها الجرعة المحصلة في مدة بعد الأخذ مقدارها 50 سنة للبالغين و70سنة للأطفال، حيث إن هذه المدد تمثل أكبر مدة محتملة لعيش الأفراد بعد الأخذ.

## 9-3 الجرعة في وحدة الأخذ:

لقد قامت اللجنة الثانية للهيئة الدولية للحماية الإشعاعية المسؤولة عن التلوث الداخلي بحساب الجرعة المؤثرة الملزمة لأخذ واحد بيكريل لكل النويدات المشعة عمليًّا، التي قد تكون ذات أهمية في الحماية الإشعاعية، وهذه يشار إليها بمعاملات الجرعة المؤثرة للأخذ، وهناك قيم أخرى معطاة للأخذ بواسطة التنفس والهضم، إن القيم الأساسية للعاملين البالغين معطاة في نشرة الهيئة 68، ومبنية على صفات الإنسان المرجع للهيئة من النشرة 23.

ويمكن أن تحدث بعض الحالات التي تتطلب تقويم الجرعة لعدد من العامة ومنهم الرضَّع والأطفال، فمثلاً عندما يكون هناك تعرض لمستويات منخفضة من الإشعاعية في البيئة، فإن القيم لعموم الناس مجدولة في نشرة الهيئة 72.

الجدول (9-2) يصور مثال معاملات الجرع لبعض النويدات المهمة للتنفس والهضم، وحيث إن انتقال أي مادة من الرئة أو من القناة الهضمية يتأثر بتركيبة الكيماوي، وبخاصة ذوبانه، فإن ذلك يستدعي قيمًا مختلفة للتركيبات الكيماوية المختلفة لمعظم النويدات المشعة، ويلاحظ أن الجرعة المؤثرة الملزمة من واحد بيكريل تتفاوت بشكل واسع للنويدات المختلفة، ما يعكس الأنواع المختلفة للإطلاق ($\alpha$ أو $\beta$) ونصف العمر وسلوك كل نوع من التركيب الكيماوي للنويدة في الجسم. إن النويدات ذات المعامل المرتفع للجرعة ذات سمية إشعاعية مرتفعة، وذات القيم المنخفضة ذات سمية إشعاعية منخفضة للتحرر.

**جدول (9-2) بعض قيم معاملات الجرعة المؤثرة للعاملين (سيفرت/ بيكريل).**

| النويدة | المركب | تنفس | هضم |
|---|---|---|---|
| تريتيوم | ماء تريتيومي (محتوٍ على التريتيوم) | $1.8\times10^{-11}$ | $1.8\times10^{-11}$ |
| | مرتبط عضويًّا | $4.1\times10^{-11}$ | $4.2\times10^{-11}$ |
| | غاز الهيدروجين | $1.8\times10^{-15}$ | —— |
| صوديوم-22 | كل المركبات | $2.0\times10^{-9}$ | $2.3\times10^{-9}$ |
| اليود-131 | كل المركبات | $1.1\times10^{-8}$ | $2.8\times10^{-9}$ |
| سيزيوم-137 | كل المركبات | $6.7\times10^{-9}$ | $1.3\times10^{-8}$ |
| بلوتونيوم-239 | ثاني أكسيد وهيدروكسيد | $3.2\times10^{-5}$ | $2.5\times10^{-7}$ |
| | بقية المركبات | $8.3\times10^{-6}$ | $9.0\times10^{-9}$ |

هذه القيم لجسيمات ذات حجم 1 مايكروميتر، وقد استقيت من نشرة الهيئة 68 الموسومة: معامل جرع أخذ النويدات للعاملين، حولية الهيئة 24 (4)، 1994م. والمعلومات المرادفة لعموم الناس معطاة في نشرة 72 الموسومة: اعتماد الجرع لعموم الناس على العمر من أخذ النويدات: الجزء 5- تجميع معاملات الجرع للهضم والاستنشاق، حولية الهيئة 26 (1)، 1996م.

وينبغي ملاحظة أن القيم الموصى بها من قبل الهيئة تراجع بشكل دوري على ضوء المعلومات العلمية الجديدة، ولهذا ينبغي دائماً استخدام المعلومات من المصادر الحالية لأغراض الحماية الإشعاعية.

ينبغي التأكد ثانية أن المتطلب الرئيس في الحماية الإشعاعية ليس هو فقط الحفاظ على ألا تتجاوز الجرع حدودها ولكن التأكد من أن الجرع أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل مقبول وبحدود الجرعة، وهذا مهم بصورة خاصة في حالة التعرض الداخلي للصعوبة الكبيرة في التحكم في التعرض وفي تقويم جرع الأفراد من أخذ الإشعاعية.

وينبغي في تقويم الجرعة الكلية السنوية لشخص ما أخذ كلا الجرعتين الخارجية والداخلية للتأكد من عدم زيادة الجرعة عن الحد الموصي به.

**مثال 9-1:**

لقد تم تخمين تعرض أحد العاملين في سنة من السنين إلى أخذ $1.5\times10^{5}$ بيكريل من الصوديوم-22 (عن طريق القناة الهضمية) و50 بيكريل من البلوتونيوم -239 على شكل أوكسيد (عن طريق الجهاز التنفسي)، معامل الجرعة للهضم للصوديوم-22 هو $3.2\times10^{9}$ سيفرت/ بيكريل (انظر جدول 9-2) وللبلوتونيوم -239 على شكل أوكسيد أخذ عن طريق التنفس هو $3.2\times10^{-5}$ سيفرت/ بيكريل فإن الجرعة الكلية المؤثرة الملزمة لأخذ هي:

للـ Na-22: $1.5\times10^{5}\ Bq \times 3.2\times10^{9}\ Sv / Bq \times 4.8\times10^{-4}\ Bq = 0.48\ mSv$

للـ Pu-239: $5.0\times10^{1}\ Bq \times 3.2\times10^{5}\ Sv / Bq \times 1.6\times10^{-3}\ Bq = 1.6\ mSv$

لهذا فإن الجرعة الكلية هي 2.08 mSv.

## 9-4 التحكم في أخطار التلوث:

### 9-4-1 قواعد عامة:

للتحكم في أخطار التلوث الإشعاعي يركز الاهتمام على تحديد الجرعات لأعضاء الجسم المختلفة بالحدود المسموح بها، كما هي الحال في الإشعاع الخارجي. ولكن الطرق الأساسية للتحكم في التعرض مختلفة تماماً، ففي حالة الإشعاع الخارجي يمكن بسهولة قياس معدل الجرعة في منطقة العمل، ويمكن مراقبة الجرعة التي يتعرض لها العاملون باستمرار والتحكم فيها باستخدام مقاييس الجرع الشخصية. في حين عندما يكون هناك تلوث إشعاعي ملحوظ فإن عدم الدقة تكون أكبر في مستوى الإشعاعية على السطوح وفي الهواء في مكان العمل وخاصة في الكميات التي يحتمل أن يستنشقها أو يهضمها العامل. لهذا فإن طريقة التحكم ينبغي أن تكون في تجنب تلوث مناطق العمل ما أمكن وتنظيف أي تحرر يحدث، ومع هذا فإن بعض التعرض للتلوث أمر لا مفر منه في كثير من المنشآت النووية، ومثال على ذلك عندما يكون من الضروري الدخول على معدات ملوثة لغرض التصليح أو الصيانة، ففي هذه الحالات تكون الطريقة هنا هي حماية العامل باستخدام الملابس المناسبة وحماية الجهاز التنفسي.

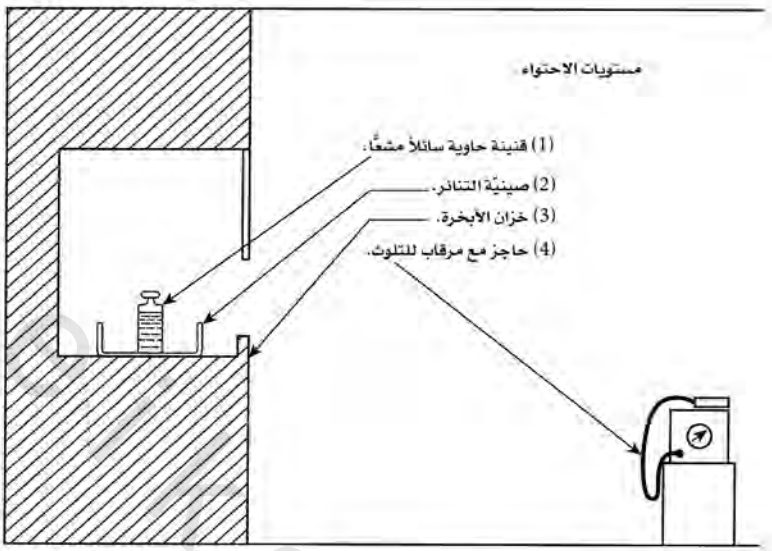
هناك ثلاث قواعد عامة تطبق للتحكم في التلوث الإشعاعي هي:

(1) التقليل -ما أمكن- من كمية المواد المشعة المتداولة.

(2) احتواء المادة المشعة، ويوفر لذلك عادة مستويان من الاحتواء على الأقل.

(3) اتباع الإجراءات الصحيحة بخصوص الملابس الواقية، وبخصوص تجهيزات التنظيف والمراقبة... إلخ.

يصور الشكل (9-3) جهاز احتواء معتاد يمكن تطبيقه في حالة بسيطة لمختبر كيميائي للإشعاع، وفيه أربعة مستويات للاحتواء هي: القنينة التي تحوي المحلول، وصينية احتواء التناثر، وخزان الأبخرة، وأخيراً الحاجز في مدخل المختبر.




شكل (9-3) رسم تخطيطي يصور أربعة مستويات للاحتواء

### 9-4-2 تصنيف المناطق:

يتم التحكم الرتيب في التلوث ـ كما هي الحال في أخطار الإشعاع الخارجي ـ بوضع نظام لتصنيف المناطق. ويظهر الجدول (9-3) الأسس التي على ضوئها ينبغي **تصنيف المناطق**.

وكما هو ملاحظ أن **المناطق المراقبة** هي التي لا يتوقع عادة حدوث التلوث فيها، ولكن ممكن أن يحدث التلوث بسبب عطل في معدة أو في إجراءات، وهي تمثل منطقة فاصلة مفيدة بين **مناطق التحكم**، حيث يحتمل وجود التلوث بمقدار كبير أو قليل والمناطق غير المتحكم فيها، وفي داخل منطقة التحكم ينبغي أن تكون هناك مناطق، حيث تكون خطورة التلوث كبيرة جدًّا وحيث تفرض تحكمات إضافية، والنقطة الأساسية هنا هي: أن يوضع نظام يوفر الأمان، ويكون عمليًّا في الظروف المعينة.

جدول (9-3) مستويات التحكم لأصناف المناطق

| نوع المنطقة | الظروف الإشعاعية |
|---|---|
| غير متحكم فيها (غير مشعة) | لا يحتمل حدوث تلوث إشعاعي. |
| مراقبة (تلوث) | الاحتمال ضعيف في حصول تلوث ولكن تتطلب أن تكون تحت المراجعة. |
| متحكم فيها (تلوث) | ملوثة بمقدار كبير أو قليل وتتطلب احتياطات خاصة وإجراءات حماية. |

يجب ما أمكن تنظيف التلوث حال حدوثه؛ لأن هذا يمنع زيادة انتشاره، والانتشار يجعل إزالة التلوث النهائي أكثر صعوبة.

ينبغي عمل مسح منتظم في المناطق المراقبة والمتحكم فيها، كذلك في المناطق المجاورة غير المتحكم فيها؛ للتأكد من أن التلوث لم ينتشر خارج الحدود.

### 9-4-3 الملابس الواقية:

تعتمد متطلبات الملابس الواقية في أي منطقة، ملوثة على طبيعة التلوث وكميته، ففي مناطق المراقبة حيث الاحتمال منخفض لتلوث السطوح، قد يكون عادةً كافياً ارتداء صدرية مختبر اعتيادية وأحذية وقفازات واقية. أما في المناطق المتحكم فيها فإن مستوى ملابس التلوث والمعدات يعتمد كليًّا على الظروف، فعندما تكون هناك مستويات تلوث الهواء، فمن المعتاد استخدام نوع من حماية الجهاز التنفسي مثل مرشح أو قناع مرتبط بمصدر للهواء. وعندما يكون التلوث على هيئة محلول فمن المعتاد ارتداء العامل بزة (بذلة) مصنعة من مادة PVC ساترة تماماً مع قناع ذي مرشح، أو أن يكون القناع مرتبطًا بمصدر للهواء النقي. والشكل (9-4) يصور بعض الملابس الواقية.

مهما كانت معايير الملابس الواقية؛ يجب أن تكون غرفة تغيير الملابس وترتيبات الحجز ذات كفاية، ويجب أن تتوافر فيها التجهيزات الآتية:

(1) مغسلة رشاش ماء -إن أمكن-، وأجهزة مراقبة (مثل مرقاب لليدين وآخر للملابس).

(2) مستودع مناسب في الجهة غير المشعة من الفاصل لحفظ الملابس الشخصية للعاملين.

(3) ملابس واقية جاهزة للاستخدام موضوعة في مكان مناسب.

(4) حاويات لوضع الملابس المستخدمة والمخلفات المشعة.

(5) لوحات إعلانات موضوعة على الفاصل يكتب عليها (لا يسمح لغير المصرح لهم)، ويكتب عليها أخطار المنطقة، وما ينبغي ارتداؤه (من الملابس)، وأي تحذيرات أخرى ينبغي اتخاذها.

(6) تعليمات للطوارئ: تفصّل ما ينبغي اتخاذه في حالة وقوع حوادث محتملة مثل حصول الكتلة الحرجة، أو حريق، أو تلوث شخصي خطير، وتعلق كل هذه التعليمات في المنطقة، وينبغي الاهتمام بإشارات مخارج الطوارئ.

تعد ترتيبات خاصة لغسل الملابس المستعملة في المناطق الملوثة، ويعامل الدفق الخارج من تجهيزات التنظيف بوصفه مخلفات مشعة سائلة.

### 9-4-4 القواعد المخبرية وتدريب الموظفين:

إن التحكم في التلوث يعتمد على كل شخص يدخل منطقة متحكمًا فيها أو منطقة مقيدة، ولهذا يجب أن يتلقى الموظفون العاملون في مثل هذه المناطق تدريبات أولية تتبعها تدريبات دورية عن الأخطار التي يشتمل عليها عملهم وعلى القواعد المخبرية، ومن هذه القواعد المعتادة للمناطق المتحكم فيها والمقيدة ما يلي:

(1) لا يسمح بالأكل أو الشرب أو التدخين.

شكل (9-4) ملابس حماية ومعدات:

(أ) بذلة مع قفازات وغطاء للأحذية. ويمكن لبس قبعة الملابس عند الضرورة.

(ب) ملابس صمَّاء، غير مُنفذة مع مرشح للهواء.

(ج) بذلة مهوَّاة بالكامل وهي مريحة وكفأة أكثر من (ب).

(د) بذلة ارتطام، للاستخدام في الطوارئ تحوي معدات تهوية.

(2) لا يسمح بالعمليات التي تتطلب استخدام الفم (مثل استخدام الممصة).

(3) يجب تغطية أي جرح بغطاء مانع للماء، وذلك قبل دخول المناطق المشعة، هذا مهم جدًّا حيث إن الجروح المكشوفة توفر ممر تلوث مباشر إلى مجرى الدم.

(4) يجب أن يبلغ عن الجروح التي تحدث في المنطقة إلى الشخص المسؤول عنها، وأن تعالج حال حدوثها.

(5) يجب عدم استعمال المناديل الاعتيادية في المناطق ذات الإشعاع، بل ينبغي أن توفر دائماً مناديل ورقية يمكن التخلص منها بعد الاستعمال.

(6) لا يسمح بنقل الحاجيات من منطقة الإشعاع إلا بعد إذن من مسؤول الفيزياء الصحية. وينبغي -ما أمكن- أن تكون مجموعة العدة وجهاز التنظيف مخصصة للمناطق ذات الإشعاع فقط، ويؤشر بوضوح على أنها مشعة.

### 9-4-5 الرمز العالمي للإشعاع:

الرمز العالمي المتفق عليه للإشعاعات المؤينة هو **رمز الوريقات الثلاث** المصور في الشكل (9-5) الذي يشاهد على الحزم الحاوية لمصادر مشعة، وفي مداخل المناطق التي تشتمل على أخطار إشعاعية ملحوظة.. إلخ.

شكل (9-5) رمز الوريقات الثلاث

## 9-5 السمية الإشعاعية وتصنيف المختبرات:

لقد أوصت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (في تقريرها الفني رقم 15) بتصنيف سمية النويدات المشعة ليكون ذلك دليلاً للإجراءات والتجهيزات المتطلبة في تداول المواد المشعة غير المغلقة. وقد استخدم التصنيف نفسه في توجيهات المنظمة الذرية الأوروبية المتعلقة بالحماية الإشعاعية.

لقد قسمت النويدات المشعة إلى أربع مجموعات بحسب سميتها الإشعاعية:

**المجموعة الأولى:** مرتفعة السمية (مثل البلوتونيوم-239 والأمريسيوم-241).

**المجموعة الثانية:** سمية فوق المتوسط (مثل السترونتيوم-90 واليود-131).

**المجموعة الثالثة:** متوسطة السمية أو أقل (مثل الفوسفور-32 والخارصين- 65).

**المجموعة الرابعة:** منخفضة السمية (مثل اليود-129 واليورانيوم الطبيعي).

ويلاحظ أن هناك كثيرًا من النويدات في كل مجموعة، والنويدات المذكورة من الأمثلة الشائعة.

لقد عرفت الوكالة الدولية للطاقة الذرية إضافة إلى ذلك ثلاثة أنواع من المختبرات أسمتهم بالأنواع 1 و 2 و 3.

- **فالنوع الأول من المختبرات:** هو عبارة عن تجهيزات مصممة خصيصًا، وتتضمن معدات معقدة تمكن من المداولة الآمنة للمستويات المرتفعة من السمية الإشعاعية.
- **أما النوع الثاني من المختبرات:** فهو يماثل أي مختبر كيميائي رفيع المستوى.
- **والنوع الثالث من المختبرات:** يشمل المختبرات الاعتيادية التي لم تصمم أصلاً لتداول مواد سامة.

والجدول (9-4) يبين كميات النويدات المشعة التي يمكن تداولها بأمان مقبول في الأنواع الثلاثة من المختبرات.

**جدول (9-4)**

**دليل لكميات النويدات التي يمكن تداولها في الأصناف الثلاثة من المختبرات**

| المشعة | صنف المختبر | | |
|---|---|---|---|
| | الأول (1) | الثاني (2) | الثالث (3) |
| مجموعة 1 | فوق 370 ميجا بيكريل | حتى 370 ميجا بيكريل | حتى 370 كيلو بيكريل |
| مجموعة 2 | فوق 3.7 جيجا بيكريل | حتى 3.7 جيجا بيكريل | حتى 3.7 جيجا بيكريل |
| مجموعة 3 | فوق 37 جيجا بيكريل | حتى 37 جيجا بيكريل | حتى 37 ميجا بيكريل |
| مجموعة 4 | فوق 370 جيجا بيكريل | حتى 370 جيجا بيكريل | حتى 370 ميجا بيكريل |

**ملحوظة:** هذه القيم للعمليات الكيميائية الرطبة الاعتيادية، ويمكن استخدام عوامل تحويل في الحالات الأخرى كما يلي:

| العمل | عامل التحويل |
|---|---|
| خزن في حاويات مغلقة ومهواة | × 100 |
| كيمياء رطبة بسيطة منخفضة الإشعاعية النوعية | × 10 |
| عمليات معقدة الرطوبة، أو بسيطة جافة | × 0.1 |
| عمليات جافة ومغبرة | × 0.01 |

## 9-6 تصميم مناطق العمل الإشعاعي:

يجب اتخاذ القدر المناسب من التخطيط المسبق قبل بناء المنطقة الإشعاعية أو المعمل الإشعاعي. إضافة إلى المواصفات العامة للتصميم والمتوقع اتخاذها في أي تجهيزات جيدة، لا بد من إعطاء اهتمام خاص للتهوية وللّمسات الأخيرة للسطوح، فأجهزة التهوية تتطلب وحدات ترشيح جيدة لإزالة الجسيمات الإشعاعية قبل التفريغ، وفي حالة النشاط الإشعاعي

الغازي ـ الذي لا يزال بواسطة الترشيح ـ لا بد من ممارسة العناية الفائقة في تحديد مواضع مخارج التهوية للتأكد من التخلص الملائم لأي إشعاعية مطروحة.

لا بد أن تكون السطوح في مناطق العمل الإشعاعي ناعمة وخالية من الخدوش، ولا بد من صناعتها من المواد الخاملة كيميائيًّا، وغير القابلة للامتصاص، والمانعة للماء، كما يجب الأخذ في الحسبان أيضاً وجود مشكلات عند إزالة التلوث ـ التي ربما تظهر ـ لذا لا بد من اختيار المواد التي يمكن تطهيرها بسهولة، أو يمكن رفعها بشكل ملائم واستبدالها.

### 9-6-1 الجدران والأرضيات والسقوف:

المتطلب الأساسي هنا هو أن تكون اللمسات الأخيرة للجدران والأرضيات والسقوف نظيفة، وخالية من أي شروخ، حيث يمكن أن يتجمع التلوث. ومن أجل النظافة وسهولة التنظيف فمن المرغوب فيه تقويس جميع زوايا الجدران مع بعضها بعضًا ومع كل من السقوف، والأرضيات.

ويمكن جعل الجدران والسقوف المخصصة ناعمة وغير مسامية باستعمال الطلاء الصقيل، أو كساء الجدران بمواد لاصقة ملائمة، ومثال على ذلك استعمال صفائح الميلامين الملتصقة خلفيتها برقائق خشبية مصمغة، وذات الوصل التناكبي والنهايات المترابطة. أما اللمسات النهائية الأخرى المستعملة للجدران والسقوف فإنها تتضمن الطلاء المطاطي المطهر بالكلور، والطلاء الصمغي المؤكسد وكذلك المواد اللاصقة الأخرى.

وأفضل أغطية أرضية تلك التي تحتوي على قطع من PVC، ترصف على الأرض وتلحم نهاياتها، ويجب أن يكون لأغطية الأرضية أطراف مقوسة متكاملة. أما البديل لهذه الأغطية فهو قطع الورق المشمع المعامل بالشمع المذاب بعد معاملته بالشمع الصلب، وذلك لجعله مانعاً للماء. وفي حالة استعمال الورق المشمع لا بد من استعمال نهايات مقوسة مسبقة الإعداد بشكل منفصل، ولا بد من ربط النهايات.

ولا يوصى بأي من رقائق الـPVC والورق المشمع عادة؛ لأن أطراف الاتصال الكثيرة في الأرضية تجعل التنظيف بعد التلوث عملية صعبة. أما الأسمنت والخشب فهما مواد أرضية سيئة، ولكن لا مانع من استعمالهما أحياناً، ولكنهما عندما يستعملان يعاملان بطلاء مطاطي لجعلهما مواد مانعة للماء.

### 9-6-2 سطوح العمل:

يجب أن يتم طلاء سطوح العمل بمواد قوية غير مسامية تملك الخصائص الحرارية الضرورية وخصائص المقاومة الكيميائية. وأكثر المواد المستعملة شيوعاً تتضمن:

(1) الصفائح البلاستيكية المصمغة بالميلامين مثل (الفورمايكا)، التي يجب أن تلتصق خلفيتها بالصمغ (الراتنجي) لمنحها المقاومة اللازمة للحرارة.

(2) رقائق كلوريد البوليفينول مثل (الدارفك) القابل للالتحام والمقاوم للحريق.

(3) الفولاذ مادة جيدة، ولكن له القابلية على الارتباط الفيزيائي بينه وبين نواتج التآكل، وإنه عرضة لهجوم بعض المواد الكيميائية، كحامض الهيدروكلوريد مثلاً.

(4) الصمغ المسلح بالألياف الزجاجية الذي يمكن تطبيعه حسب الشكل، ويمكن معالجته لجعله مقاوماً للنار، ولكنه قد يحترق فيها.

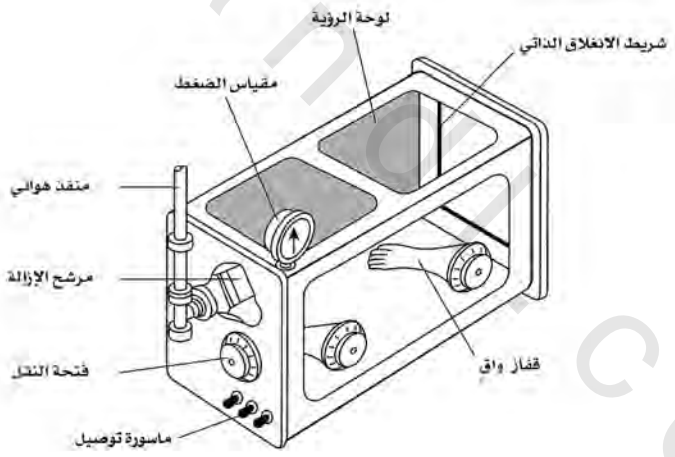
(5) البوليبروبيلين الذي يمكن لحامه وتشكيله بالحرارة. وهذه المادة شديدة المقاومة الكيميائية إلى حد يجعل من الصعب إيجاد مواد لاصقة لها، وإنها ليست مقاومة للنار، فبمجرد اشتعالها فإنها تستمر في الاحتراق.

### 9-6-3 صناديق القفازات:

وهي مما تجهز به المعامل الإشعاعية، وذلك لتداول المواد الخطرة، فهي تحتوي على وعاء مانع للتسرب، حيث يمكن تداول الأجسام والمواد المشعة خلال قفازات واقية مربوطة

بفتحات في جدران الصندوق (انظر الشكل 9-6)، وهدفه توافر حاوٍ للمواد المشعة أو السامة أو كليهما. وفي العادة، إنّ هذه الأوعية لا تشكل درعاً يمنع اختراق الإشعاع، ولهذا فهي تستعمل لمشعات ألفا وبيتا فقط، وعندما ينبغي تداول النظائر الباعثة لأشعة جاما، تبنى عادة جدران من قوالب الرصاص بين المشغل وبين صندوق القفاز.

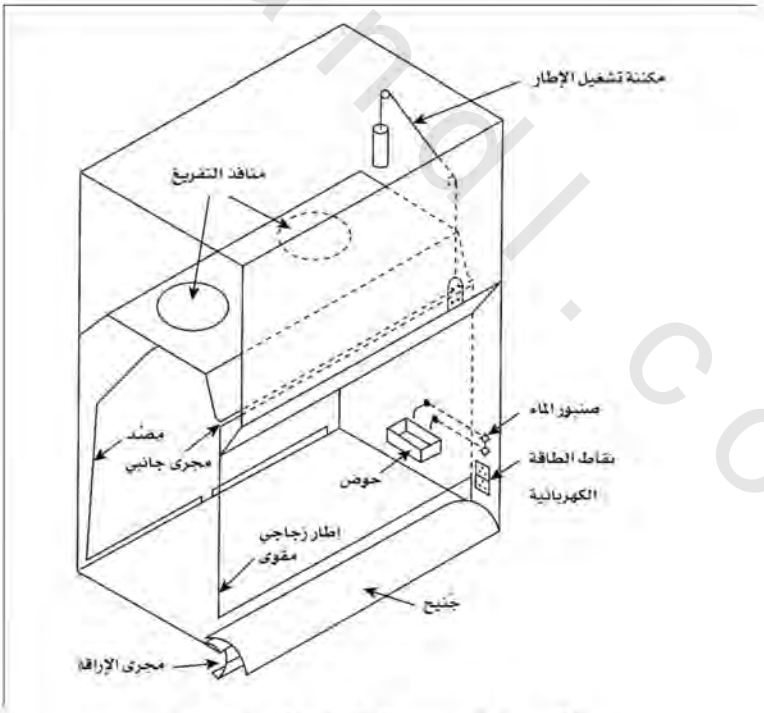
تتم المحافظة على جعل الضغط داخل صناديق القفازات أقل من ضغط المعمل، فإذا ما وقع تسرب فإن الهواء سيندفع داخل الصندوق من خلال مناطق التسرب، وهذا من ثم يمنع هروب التلوث إلى الخارج. يستعمل في نظام التهوية في العادة مرشحان: أحدهما لإزالة الغبار من الهواء المسحوب إلى الصندوق، والثاني لإزالة الدقائق الإشعاعية من الهواء الذي يسحب من الصندوق إلى الخارج.




شكل (9-6) رسم تخطيطي لصندوق القفاز

### 9-6-4 خزانات الأبخرة:

تستعمل خزانة الأبخرة عند تداول مواد ذات مستوى إشعاعي منخفض (بحدود ميجابيكريل). ويتم تداول المواد عبر فتحة في الأمام، حيث يدخل الهواء من المعمل إلى خزانة الأبخرة (انظر الشكل 9-7). وهذا يحمي المستعمل للمواد من أي تسرب للتلوث خلال وجود أي ثغرة في المعمل العام. وخدمات الخزانة تتطلب -في العادة- وجود الماء والغاز وأجهزة التفريغ والكهرباء، ويجب السيطرة على هذه الخدمات خارج الصندوق؛ للتقليل من التحرك عبر الفتحة الأمامية. ومن الأفضل التعود على خفض عدد الفتحات في الواجهة الأمامية للصندوق إلى أقل حد؛ لتقليل احتمالية حصول تلوث إشعاعي يدخل جو المختبر العام.




شكل (9-7) رسم تخطيطي لخزانة الأبخرة

## 7.9 معاملة الأشخاص الملوثين:

لا توجد وسيلة سريعة للتخلّص من النظير المشع عندما يستقر في الجسم (أي خفض عمر نصفه الإحيائي)، ومن ذلك تتبين أهمية بذل كل الجهود لمنع دخول المواد المشعة (التلوث) إلى الجسم. ومن الضروري أن يتبع كل الموظفين القواعد المخبرية، وأن يلبسوا ملابس الحماية المناسبة. ومع هذا، فمن المحتمل أن تقع حوادث تلوث؛ لذا فمن الضروري معرفة المعالجة الصحيحة.

إن الإجراء الأول الذي يجب اتخاذه عند التعامل مع شخص ملوث، هو التأكد من كونه مجروحاً أم لا، فإذا كانت هناك جروح شديدة يجب أن تجرى له الإسعافات الأولية في أسرع وقت ممكن. والشيء الثاني الذي ينبغي عمله بعد العلاج الطبي الضروري: هو إزالة التلوث قبل أن يُمتص ويستقر في الجسم، ولكن قبل البدء في إزالة التلوث يجب أن يجرى له ـ بعناية ـ مسح إشعاعي حول الجسم كلّه باستخدام مرقاب تلوث مناسب لتعيين موضع التلوث، ففي حالة التلوث الجزئي يصبح من الضروري إزالة التلوث من المناطق الملوثة فقط، فمثلاً إذا ما تعرض شخص لتلوث في يديه أو في وجهه، فتغسل هذه المناطق بالماء والصابون باستفاضة قبل مراقبتها ثانية؛ للتأكد من سلامته تماماً، وإلا فلا بدّ من إعادة الغسل.

أما في حالة تلوث كل الجسم فإن الإجراء الأول الذي يجب اتخاذه بعد خلع الملابس الواقية، هو عادة غسل شعر الشخص فوق مغسل لليدين؛ لكي لا يدخل الماء الملوث في فمه عند الاستحمام التام، وبعدها يقوم بالاغتسال تحت رشاش الماء، باستعمال صابون أو عوامل تنظيف أخرى ذات قدرة أشد. وبعد هذا الاستحمام يفحص بعناية، فقد يحتاج إلى الاغتسال مرات أخرى لإزالة التلوث تماماً. إضافة إلى ذلك، عندما يكون الشخص قد تعرض إلى تلوث زائد عن طريق الهواء (بالتنفس) فقد يستلزم ذلك إجراءات أخرى كأن ينف (يمخط) ما في أنفه ويغسله لإزالة التلوث تماماً من داخله. وإذا ما بقي جرح ثانوي في منطقة ملوثة يجب أن يسمح له بالنزف بحرية

ويغسل بالماء بغزارة لتقوية إزالة التلوث. وإذا لم يكن بالإمكان إزالة التلوث تماماً ومباشرة من الشخص، أو إذا كانت جراحه خطيرة فيجب الحصول على المساعدة الطبية بأسرع ما يمكن. وعندما يبتلع مادة مشعة فقد يعطى الشخص مواد مضادة الغرض منها منع أو تقليل الامتصاص من قبل القناة الهضمية مثل مضادات الحموضة أو رزنات التبادل الأيوني، وذلك بعد ابتلاع المواد المشعة مباشرة. أما إذا امتصت نويدات مشعة ذات سمية عالية مثل البلوتونيوم - 239 عن طريق جرح أو استنشاق، وكان بشكل قابل للذوبان، فقد يعطى الشخص كيميائيات معينة تدعى المواد المخلصة (مثل DTPA) لتحفيز الجسم على التبرز. ولسوء الطالع، فإن هذه الكيميائيات نفسها تميل إلى كونها سامة كيميائيًا. إن امتصاص بعض النظائر المشعة يمكن إيقافه بالتناول المسبق لكميات كبيرة من النظير المستقر للعنصر نفسه، فمثلاً إن أخذ اليود المشع إلى الغدة الدرقية يمكن تقليله إلى درجة كبيرة جدًا بالتناول المسبق لكبسولة زنة 200 ملي غرام من يود البوتاسيوم. إن لهذا تطبيقات مهمة في حالة وقوع حادث في مفاعل.

## 9ـ8 مراقبة التلوث:

### 9-8-1 الحسية:

لقد سبق الذكر أن كميات صغيرة تماماً من المواد المشعة التي لا تشكل خطراً خارجيًا ملموساً يمكن أن تؤدي إلى أخطار داخلية ملموسة. وهذا يعني أن مستويات الإشعاع المتولدة من كمية من التلوث الإشعاعي اللازم لإحداث خطر داخلي، هي عادة أقل بكثير من تلك المستويات التي تسبب أخطارًا إشعاعية خارجية. ولهذا ينبغي أن تكون مراقب التلوث بصورة عامة أكثر حساسية من معدلات المسح الإشعاعي.

ولتحقيق هذا المتطلب في زيادة الحسية (الحساسية) تصنع مراقب التلوث من كاشفات تتضمن بداخلها أجهزة مضاعفة (جايجر ـ ميولر أو عداد وميض)، ويسجل مستوى النشاط الإشعاعي على شكل معدل للعد (عدَّه بالثانية أو بالدقيقة). ويجب

معايرة المرقاب بشكل مناسب قبل التمكن من حساب مستوى التلوث (كأن يكون معايراً على سبيل المثال ـ بالميجابيكريل/م$^2$).

## 9-8-2 مراقبة تلوث السطح المباشر:

وهذه الطريقة هي الأسهل والأنسب في مراقبة التلوث، وتجرى للتأكد من وجود التلوث على سطوح الطاولات والأغطية والجلد، وما شابه ذلك.

إن القياس المباشر يسمح بحساب مستوى التلوث بوحدات (الميجابيكريل/م$^2$) ويمكن أن تربط بحدود العمل القصوى عند تلوث السطح. يتكون مرقاب التلوث المثالي من معدال يعمل على الخط الرئيس أو على بطارية، ويمكن أن توصل به أنواع مختلفة من رؤوس الكشف.

يكشف عن تلوث ألفا باستعمال وامض من سلفات القصدير مرتبط بأنبوب مضاعفة الفوتونات، حيث تغطي شاشة سلفات القصدير بميلانكس (DuPont) وهي عبارة عن مادة بلاستيكية رقيقة جدًّا مغطاة بالألمنيوم لحجز الضوء. إن هذا الغطاء يجب أن يكون رقيقاً بدرجة كافية؛ كي يسمح لجسيمات ألفا باختراقها لتصل إلى شاشة سلفات القصدير. ومن المهم ـ عند القيام بمراقبة مباشرة لسطح ما تحرياً لتلوث ألفا ـ أن يكون المجس في أقرب ما يمكن من السطح حتى يقيس مستوى النشاط الإشعاعي الحقيقي.

وفي مراقب تلوث بيتا تستخدم عادة أنبوبة جايجر- ميولر في حامل مناسب أو مجس، وللمجس مصراع يجب فتحه عند المراقبة. وإذا كان يشك بوجود تلوث بيتا بطاقة منخفضة فتستعمل أنبوبة جايجر ـ ميولر ذات شباك طرفي رقيق. يستخدم فوسفور بلاستيكي في نوع آخر من كاشفات بيتا، ويمكن استخدمها مع شاشة سلفات القصدير لتكوين مجس ثنائي يسمح بمراقبة ألفا وبيتا معًا، ويستعمل أنبوب واحد لمضاعفة الفوتونات، إضافة إلى دائرة كهربائية للتمييز بين نبضات ألفا وبيتا.

إن مجسات بيتا تستجيب لأشعة جاما ما يجعل المراقبة المباشرة لتلوث بيتا صعبة في المناطق المرتفعة الإشعاع الأساسي لجاما، وتحت هذه الظروف يجب استخدام طرق غير مباشرة.

## 3-8-9 فحوص المسح:

الفحوص بطريقة المسح هي طريقة غير مباشرة لقياس مستويات تلوث السطوح، وهي تستخدم إما للكشف عن مستويات التلوث المنخفضة جدًّا أو لمراقبة التلوث في منطقة مرتفعة الإشعاع الأساسي. تمسح مسافة معلومة بورقة ترشيح مساحتها (في العادة 0.1 م$^2$) ثم توضع هذه الورقة في مظروف من البولثين لمنع تلوثها من مصادر أخرى، وتؤخذ إلى منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي حيث يقاس نشاطها الإشعاعي باستخدام جهاز كشف معلوم الكفاءة. ويمكن حساب مستوى التلوث باستخدام المعادلة الآتية:

مستوى التلوث (بيكريل/ م$^2$) يساوي:

$$C_C \times \frac{100}{E_C} \times \frac{1}{A} \times \frac{100}{E_F}$$

حيث:

$C_C$ = معدل العد مصححاً بالنسبة إلى العد الأساسي، بوحدات عدّه في الثانية.

$E_C$ = الكفاءة الكلية لجهاز العد.

A = المساحة الممسوحة بالمتر المربع.

$E_F$ = كفاءة التقاط ورقة الترشيح للتلوث.

إن من الصعوبة إيجاد كفاءة التقاط ورقة الترشيح للتلوث ($E_F$)، وإن قابلية استعادتها غير جيدة، فهذه الكفاءة تعتمد على عوامل متعددة مثل الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للتلوث وطبيعة السطح الملوث... إلخ. في بعض الأحيان تؤخذ الكفاءة $E_F$ على أنها مئة في المئة ليصبح ما يحسب في هذه الحالة هو التلوث المزال (لا التلوث الحقيقي)، وغالباً ما تفترض الكفاءة 10٪.

وهناك تقنية نوعية مقيدة تستخدم عادة في داخل المنطقة المشعة، وهي مسح مساحة كبيرة باستخدام منشفة ورقية مبللة ثم تفحص هذه المنشفة. إن لهذه التقنية ميزة في أنها تزيل التلوث من السطح.

### 9-8-4 مراقبة الهواء:

تجري مراقبة الهواء في المناطق التي يمكن أن يحدث فيها تلوث هوائي. وهناك ـ أساساً ـ ثلاثة سبل يمكن أن يحدث عن طريقها تلوث الهواء.

(1) بإثارة التلوث الذي على السطوح في المنطقة الإشعاعية.

(2) عند جفاف التلوث السائل.

(3) بالعمليات الجافة المغبِّرة مثل القطع الذي يؤدي إلى إطلاق دقائق مشعة.

يقاس النشاط الإشعاعي **للأغبرة** العالقة في الهواء بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح، ثم يعد النشاط الإشعاعي لورقة الترشيح في منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي بالطريقة نفسها التي يجرى فيها قياس النشاط الإشعاعي لورقة الفحص بالمسح (السالف الذكر)، ويحسب مستوى النشاط الإشعاعي العالق في الهواء من معرفة معدل العد لورقة الترشيح. وباستخدام المعادلة الآتية:

مستوى تلوث الهواء (بيكريل/ م$^3$) يساوي:

$$C_C \times \frac{100}{E_C} \times \frac{1}{V}$$

حيث:

$C_C$ = معدل العد المصحح (عدة في الثانية).

$E_C$ = كفاءة جهاز العد الكلية.

V = حجم عينة الهواء بالمتر المكعب.

يحسب النشاط الإشعاعي **الغازي** عادة بسحب حجم معين من الهواء خلال ورقة الترشيح، ومنها إلى غرفة عينات، حيث تغلق بعد ذلك. تقوم ورقة الترشيح بإيقاف

الدقائق العالقة في الهواء، وتدخل الغازات المشعة فقط إلى غرفة العينات، ثم يعد نشاط غاز غرفة العينات في منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي، ومن ثم يمكن حساب مستوى النشاط الإشعاعي الغازي.

### 9-8-5 المراقبة الإحيائية:

تكفي مراقبة تلوث الهواء والسطوح ـ عادة ـ للتأكد من أن ما يدخل أجسام الأشخاص المعرضين للتلوث من مواد مشعة ليس له أثر يذكر، غير أنه ينبغي في بعض الظروف إجراء مراقبة حيوية. فمن هذه الظروف على سبيل المثال:

(1) إذا كان الحد السنوي لأخذ النظير تحت الدرس قليلاً جدًّا (مثل البلوتونيوم).

(2) إذا كان من الصعب الكشف عن النظير بالطرق المعتادة.

(3) إذا ما وقع حادث ما.

يعتمد نوع المراقبة المستخدمة على نوع النظير المشع الذي دخل الجسم.

النظائر المشعة **لجاما** يمكن أن تقاس باستخدام عداد الجسم الكلي، حيث يوضع الشخص في تجهيزات منخفضة الإشعاع الأساسي معزولة، ثم يكشف عن أشعة جاما المنطلقة من جسمه باستخدام عدة عدادات وميض كبيرة من يوديد الصوديوم (NaI).

النظائر الباعثة **لألفا وبيتا** تقاس بمراقبة الخارج من السبيلين، فمثلاً يراقب الغائط، وذلك عند تناول تلوث غير قابل للذوبان، أو مراقبة البول عند التلوث القابل للذوبان. تجرى مراقبة التنفس للكشف عن استنشاق الراديوم؛ لأن الراديوم يضمحل إلى وليده الغازي الرادون الذي يظهر في الزفير.

ومن المؤشرات المفيدة عند الشك في استنشاق مادة مشعة أن تجرى مراقبة مسح الأنف أو المخاط؛ للتعرف على ما إذا كان قد حدث استنشاق ملحوظ للمادة المشعة عن طريق التنفس أم لا.

**خلاصة الفصل:**

**أخطار الإشعاع الداخلي**: يسبب مواد مشعة في داخل الجسم.

**منافذ الدخول**: التنفس والابتلاع والدخول المباشر عن طريق جروح في الجلد.

**ثابت الاضمحلال المؤثر**: $\lambda_{eff} = \lambda_r + \lambda_b$

**الجرعة المكافئة الملزمة للعضو**: الجرعة المكافئة التي ألزم بها العضو بعد الأخذ.

**الجرعة المؤثرة الملزمة**: الجرعة المكافئة الملزمة للعضو مضروبة بمعامل النسيج المناسب.

**معامل الجرعة المؤثرة**: الجرعة المؤثرة من أخذ 1 بيكريل من نويدة.

ولقد وضعت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية القيم لجميع النويدات ذات الأهمية في جداول لكل من الاستنشاق والهضم.

**مراقبة تلوث السطح**: مراقبة مباشرة ـ سلفات الخارصين، للكشف عن ألفا، وأنابيب جايجر ـ ميولر للكشف عن بيتا. المراقبة غير المباشرة باستخدام فحوص المسح.

**مستوى تلوث السطح (بيكريل/ م$^2$)** $= C_C \times \frac{100 \times 1 \times 100}{E_C \times A \times E_F}$

**مستوى تلوث الهواء**: يعين مستوى التلوث بالدقائق المشعة بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح.

**مستوى التلوث (بيكريل/ م$^3$)** $= C_C \times \frac{100 \times 1}{E_C \times V}$

يقاس النشاط الإشعاعي الغازي بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح إلى غرفة العمليات، ثم يعد نشاط الغاز.

**المراقبة الإحيائية**: ( أ ) مشعات جاما ـ عداد الجسم الكلي.

(ب) مشعات ألفا أو بيتا ـ البراز أو البول ومراقبة التنفس.

## أسئلة للمراجعة:

(1) إذا ما تعرض عامل لأخذ $2\times10^5$ بيكريل من اليود -131 (عن طريق الاستنشاق) و$10^6$ بيكريل من السيزيوم -137 (عن طريق الاستنشاق) في السنة، فما الجرعة الخارجية القصوى التي يمكن أن يتعرض لها في السنة بحدود الجرعة السنوية 20 ملي سيفرت ؟ (11.1 ملي سيفرت).

(2) احسب أقصى أخذ لثاني أوكسيد البلوتونيوم - 239 يمكن أن يتعرض له عامل ما عن طريق الاستنشاق في السنة، إذا كانت جرعته من التعرض الخارجي هي 10 ملي سيفرت، (312.5 بيكريل).

(3) ناقش مشكلة مراقبة التلوث المباشر للسطوح؟

(4) احسب مستوى تلوث السطح من المعلومات الآتية:

معدل العد غير المصحح من ورق المسح 3840 عدة في الدقيقة.

| | |
|---|---|
| معدل عد الخلفية | 240 عدة في الدقيقة |
| كفاءة جهاز العد | 15٪ |
| مساحة السطح الممسوح | 0.1 م$^2$ |
| كفاءة الالتقاط في المسح | 10٪ |

(5) احسب مستوى النشاط الإشعاعي للدقائق في الهواء من المعلومات الآتية:

| | |
|---|---|
| معدل العد غير المصحح من ورق المسح | 29832 عدة في أربع دقائق. |
| معدل العد الأساسي | 1032 عدة في أربع دقائق. |
| كفاءة جهاز العد | 12٪ |
| معدل مرور الهواء خلال جامع العينات | 0.03 م$^3$ في الدقيقة. |
| الوقت الذي شغل فيه جامع العينات | 2 دقيقة. |

(6) ناقش مشكلة معالجة شخص ملوث ومجروح كذلك؟

(7) ما المقصود (بالسّميّة الإشعاعية) لنظير ما؟ ناقش كيف يؤثر ذلك على تصنيف المختبرات التي تتعامل مع المواد المشعة.

# الفصل العاشر

# الفيزياء الصحية
# في المفاعل النووي

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل العاشر

# الفيزياء الصحية في المفاعل النووي

## 10ـ 1 مقدمة :

هيَّأ اكتشاف الانشطار النووي عام 1938م أساس مصدر جديد للطاقة يفوق مجموع المخزون العالمي من الوقود التقليدي[1]. وكان نمو الطاقة النووية سريعًا؛ لأن تشغيل أول مفاعل في ساحة للعبة الإسكواش[2] حوّلت لهذا الغرض في شيكاغو كان عام 1942م من قبل العالم أرنكو فيرمى[3] ورفاقه وأعقب ذلك تطور سريع لمحطات الطاقة النووية في الستينيات والسبعينيات الميلادية. وقد تباطأت في الثمانينيات والتسعينيات الميلادية، ومعظم المحطات الأول أوقفت ولكن الطاقة النووية لا تزال تسد قسطاً ملموساً من متطلبات الطاقة في معظم الدول المتقدمة في العالم، ولكن محاسن المفاعل النووي بوصفها مصدرًا للطاقة قد قابلها عدد من المشكلات الخاصة التي من ضمنها:

(1) حماية عامل التشغيل وعامل الصيانة.

(2) التعامل الأمين والتخلص من الكميات الهائلة من المواد المشعة المتولدة أو خزنها.

(3) محاولة الوصول إلى درجة منخفضة ومقبولة من حيث الأخطار والأضرار للمواطنين، نتيجة الإطلاق المحتمل للمواد المشعة في حالة وقوع حادث في المفاعل.

ويمكن التغلب على هذه المشكلات جميعها، ومن المتفق عليه عموماً أن لصناعة الطاقة النووية سجل أمان جيد، وهناك عدد قليل من الاستثناءات التي تمت مناقشتها في الفصل 16.

---

(1) المقصود بالوقود التقليدي: هو النفط، والفحم الحجري، والغاز الطبيعي.

(2) لعبة الإسكواش: لعبة شبيهة بكرة اليد والمنضدة (التنس).

(3) فيرمي: عالم إيطالي ولد عام 1901م، وانتقل إلى أمريكا، وشارك في صناعة القنبلة النووية، وحصل على جائزة نوبل عام 1938م، عن بحوثه في " تفاعلات النيوترونات البطيئة " وتوفي عام 1954م.

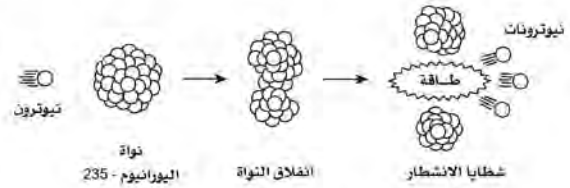
ومن أجل فهم الأخطار المصاحبة للمفاعلات النووية، من الضروري الإلمام بأساسيات الانشطار النووي وتكنولوجيا المفاعل، وهذا ما سنعرض له في هذا الفصل. وسنتطرق بعد ذلك للأخطار الإشعاعية المصاحبة لتشغيل المفاعلات النووية.

## 10ـ2 الانشطـار:

### 10-2-1 عملية الانشطـار:

الانشطار هو انقسام النواة إلى قسمين متساويين تقريباً تعرف بشظايا الانشطار، وقد وجد أن أنواعاً معينة من النوى الثقيلة تنشطر تلقائيًّا بمعدل بطيء نسبيًّا، مثل اليورانيوم والثوريوم. وهناك نوى أخرى يمكن شطرها بإعطائها بعض الطاقة كقذفها بالنيوترونات. والمواد التي يمكن شطرها بهذه الطريقة تدعى المواد الانشطارية، وعملية الانشطار تؤدي إلى تحرر طاقة تكون أساساً على شكل طاقة حركية لشظايا الانشطار، وهذه الطاقة تتحول سريعاً إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة مواد الوقود. وهناك نظير واحد فقط قابل للانشطار بدرجة ملحوظة من المواد الموجودة طبيعيًّا وهو اليورانيوم - 235 ($U^{235}$) وهذا النظير يكون 0.7 في المئة فقط من اليورانيوم الطبيعي، أما الباقي وهو 99.3 في المئة فهو يورانيوم – 238.

من المميزات الأساسية المهمة للانشطار أن شظايا الانشطار غير مستقرة، ولذلك فهي تطلق نيوترونات ـ عادة بين 2 و4 في كل انشطار ـ (شكل 10–1) ومعظم هذه النيوترونات غالباً ما تنطلق آنيًّا، وتدعى **النيوترونات الآنية**، وبعضها الآخر ينطلق بعد ثوانٍ أو حتى بعد دقائق من حدوث الانشطار، وتدعى **النيوترونات المتأخرة**.




شكل (10-1) الانشـــطار

إن انطلاق النيوترونات في عملية الانشطار ينطوي على عدد من العواقب:

أولاً: يمكن من قيام تفاعل متسلسل.

ثانياً: إن النيوترونات التي تؤسر من قبل وقود اليورانيوم تؤدي إلى إنتاج عناصر ما فوق اليورانيوم منها البلوتونيوم (انظر البند 10-2-4).

ثالثاً: إن النيوترونات التي تؤسر من قبل هيكل محطة المفاعل النووي والمواد الأخرى تؤدي إلى جعل هذه المواد مشعة، (انظر البند 10-2-5).

## 10- 2- 2 التفاعلات المتسلسلة والكتل الحرجة:

قد تؤدي النيوترونات المتولدة إلى انشطارات أخرى مع إطلاق نيوترونات جديدة، ما يؤدي إلى إمكان الحصول على تفاعل متسلسل، وفي الواقع تهرب بعض النيوترونات من وحدة المفاعل وبعضها يؤسر في تفاعلات غير انشطارية، ويقلل من خسارة النيوترونات المأسورة في المفاعل بالحرص على عدم استخدام مواد ذات مقطع أسر عال في قلب المفاعل. ومع هذا فلا بد من بعض الخسارة، فحتى مواد الوقود يمكنها أسر النيوترونات دون أن تنشطر، وبزيادة حجم قلب المفاعل يمكن التقليل من النيوترونات الهاربة إلى نسبة منخفضة تمكن من التفاعل المتسلسل. فإذا ما كان القلب صغيراً جدًّا فيسهل هرب النيوترونات عندئذ. أما إذا كان القلب كبيراً فيتطلب من النيوترون قطع مسافة إضافية، ما يزيد من احتمال إحداث الانشطار. وهناك طريقة أخرى لتقليل الهرب، وذلك بوضع عاكس من مواد خفيفة حول القلب تعكس النيوترونات الهاربة ثانية إلى القلب.

لو افترضنا كتلة من مادة انشطارية تولد 2.3 نيوترون كمتوسط في كل انشطار، فإذا كان عدد النيوترونات المفقودة بالهرب والأسر هو 1.3 نيوترون في المتوسط فيبقى هناك نيوترون واحد متوافر لإحداث انشطار آخر، وهذا يؤدي من ثم إلى تفاعل متسلسل مستديم بنفسه، ويكون معدل الانشطار ثابتاً، ويسمى هذا النظام **حرجاً**. أما إذا كان معدل خسارة النيوترونات هو 1.31 نيوترون في كل انشطار فهذا يعني أن

النيوترونات المتبقية للانشطار هي 2.30 – 1.31 = 0.99 نيوترون، ويدعى هذا **النظام تحت الحرج**، حيث يتناقص معدل الانشطار فيه، والعكس فيما إذا كانت الخسارة هي 1.29 نيوترون للانشطار، فيبقى 1.01 نيوترون، وهذا ما يؤدي إلى **نظام فوق الحرج** حيث يزداد فيه معدل الانشطار. ولهذا فإن هناك أصغر حجم للقلب لكل نوع من أنواع المفاعلات لا يكون فيه النظام حرجاً إذا ما قل الحجم عن ذلك، وبعبارة أخرى هناك أقل كتلة من الوقود ضرورية لحصول تفاعل متسلسل، وهي ما تدعى **أقل كتلة حرجة**. فمثلاً يمكن في الأساس عمل سلاح نووي مكون من قطعتين من المادة الانشطارية كل واحد منهما أكبر بقليل من نصف الكتلة الحرجة، ويفجر هذا السلاح بجلب النصفين بسرعة إلى بعضهما بعضًا؛ لإعطاء كتلة فوق الحرجة مؤدية إلى زيادة معدل الطاقة المتحررة بصورة سريعة جدًّا إلى قيمة هائلة. ومن حسن الحظ أن هذا ما يصعب إنجازه عملياً.

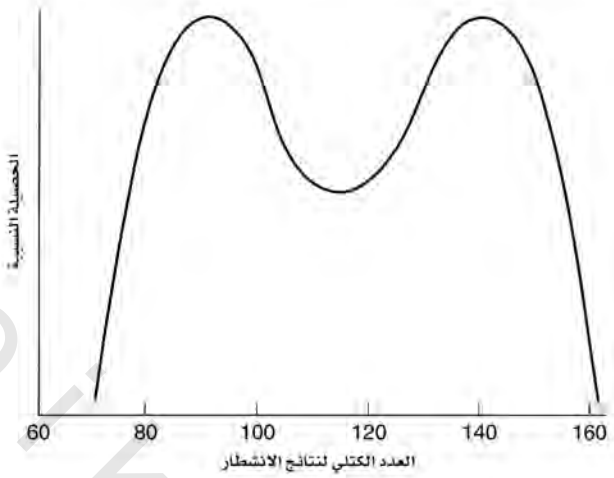
واحتمالية تكون الكتلة الحرجة نتيجة وضع المواد الانشطارية بكميات كافية، له أهمية كبيرة في تصميم وتشغيل المحطات التي تعالج أو تنقل أو تخزن هذه المواد، فمن البدهي أن يكون من الأهمية بمكان التأكد من عدم حدوث الكتلة الحرجة، ويمكن تحقيق هذا الهدف عادة بالتصميم الدقيق للمرافق ، وفي بعض الأحيان يكون ذلك عن طريق إجراءات التشغيل. وفي الفصل 16 مناقشة أوسع لهذا الأمر.

### 10- 2- 3 نواتج الانشطار:

يمكن أن يحدث انشطار ذرة المادة بطرق عدة، ففي الانشطار الأكثر احتمالاً للذرة الثقيلة تنقسم إلى شظيتين بكتلتين مقدارهما نحو 97 و 145، ومثال على ذلك:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{135}_{52}Te + ^{97}_{40}Zr + 4\,^{1}_{0}n$$

إن توزيع العدد الكتلي لناتج الانشطار موضح في الشكل (10- 2).




شكل (10-2) الحصيلة النسبية لناتج الانشطار

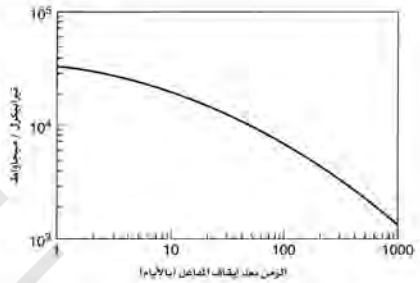
وعملية الانشطار تنتج نحو 300 نويدة مختلفة معظمها يحوي فائضاً من النيوترونات، وتتحلل بإطلاق جسيمات بيتا مارة بسلسلة من النويدات المشعة. ففي المثال السابق يتحلل كل من الثلوريوم – 135 والزركونيوم – 97 بإطلاق جسيمات بيتا، حتى يصل كل واحد منهما إلى نويدة مستقرة:

$$^{135}_{52}Te \xrightarrow{\beta} {}^{135}_{53}I \xrightarrow{\beta} {}^{135}_{54}Xe \xrightarrow{\beta} {}^{135}_{55}Cs \xrightarrow{\beta} {}^{135}_{56}Ba$$

$$^{97}_{40}Z \xrightarrow{\beta} {}^{97}_{41}Nb \xrightarrow{\beta} {}^{97}_{42}Mo$$

ويمكن ملاحظة أن استغلال الانشطار النووي لإنتاج الطاقة يؤدي إلى تكون المئات من أنواع مختلفة من نواتج الانشطار المشعة في داخل الوقود ذوات أعمار الأنصاف المتباينة التي تتراوح ما بين جزء من الثانية إلى سنوات عدة، ويزداد تراكم نواتج الانشطار خلال مدة التشعيع.

يظهر الشكل (10- 3) نواتج الانشطار المتراكمة بالبيكريل وتحللها خلال 1000 يوم في وقود قد ولد ميجاواط واحد من الحرارة بصورة متجانسة مدة 2000 يوم من التشعيع.




شكل (10- 3) نواتج الانشطار المشعة لبيتا والمتراكمة

إن نواتج الانشطار من النويدات المختلفة لها صفات فيزيائية وكيميائية متباينة كثيراً، ولهذا فهي مختلفة في شدة سميتها الإشعاعية بصورة كبيرة. ولمنع نواتج الانشطار من الهروب يوضع الوقود في مادة أخرى لها صفات مناسبة تعرف **ببطانة الوقود**.

## 10- 2- 4 عناصر ما فوق اليورانيوم:

يمكن أن تأسر ذرات الوقود النيوترونات في تفاعلات غير انشطارية، كما مر بنا سابقاً. إن تفاعلات الأسر المتتالية هذه مع تحللات بيتا تؤدي إلى تولد عناصر ما فوق اليورانيوم في الوقود، ومن هذه التفاعلات ذات الأهمية الخاصة أسر النيوترونات من قبل اليورانيوم - 238($^{238}U$) الذي ينتج عنه يورانيوم - 239($^{239}U$) الذي يتحلل بسرعة بإطلاق جسيم بيتا ليتحول إلى نبتونيوم - 239 ($^{239}NP$)، وبعدها يتحول الأخير إلى بلوتونيوم - 239 ($^{239}Pu$).

$$^{238}_{92}U(n,\gamma)^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta} ^{239}_{93}Np \xrightarrow{\beta} ^{239}_{94}Pu$$

وهذه العملية ذات أهمية كبيرة؛ لأنها توفر طريقة لتحويل نسبة كبيرة من اليورانيوم - 238 ($^{238}U$) غير القابل للانشطار إلى البلوتونيوم - 239 ($^{239}Pu$) القابل

للانشطار، ولكن للبلوتونيوم - 239 مساوئ، إذ إن له عمر نصف طويلاً جدًّا ($t_{1/2}$ = 24300 سنة) ويطلق جسيمات ألفا، وهو شديد السمية الإشعاعية بعكس اليورانيوم.

وعمليات الأسر وتحلل أشعة بيتا الإضافي تقود إلى تولد نويدات الأمريسيوم (**Am**) والكوريوم (**Cm**).

## 10- 2- 5 نواتج التنشيط الإشعاعي:

يؤدي أسر النيوترونات من قبل المواد المكونة لهيكل ومبرد المفاعل إلى تولد فصائل عدة من نواتج التنشيط الإشعاعي، ففي القطع الفولاذية يتحول نظير الحديد المستقر - 58 ($Fe^{58}$) بعد أسره نيوترون إلى الحديد - 59 ($Fe^{59}$) الذي يتحلل بإطلاقه جسيم بيتا إلى الكوبلت - 59 ($Co^{59}$). وعمر النصف للحديد - 59 ($Fe^{59}$) هو 45 يوماً.

وتنشيط آثار العناصر في المواد مهم في حالات عدة بسبب توافق محدد للخصائص النووية. وكل أنواع الفولاذ مثلاً يحوي الكوبلت - 59 بنسب لا تتجاوز مئات عدة من الأجزاء بالمليون، فينشط النظير المستقر الكوبلت - 59 ($Co^{59}$) بالتفاعل الآتي:

$$^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$$

والكوبلت - 60 له عمر نصف طويل نسبيًّا (5.22 سنة) ويطلق إضافة إلى جسيم بيتا المنخفض الطاقة فوتونين بطاقة عالية من أشعة جاما في كل تحلل. هناك تفاعل مهم للأكسجين الداخل في تركيب المبرد في كل من المفاعلات المبردة بالماء أو الغاز وهو:

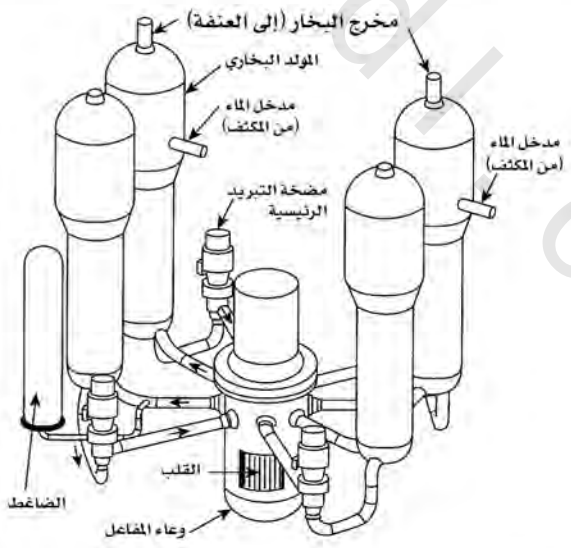
$$^{16}O(n,p)^{16}N$$

ومع أن عمر النصف للنيتروجين قصير جدًّا وهو 7.2 ثانية، ولكن له تأثيراً كبيراً في تحديد الحواجز المطلوبة.

## 10-3 نظام المفاعل:

### 10- 3- 1 السمات العامة:

الغالبية العظمى من المفاعلات التجارية لتوليد الطاقة النووية التي تعمل في الوقت الحاضر، أو التي لا تزال تحت الإنشاء في أنحاء العالم هي من نوع مفاعلات الماء الخفيف التي طورت في بادئ الأمر في الولايات المتحدة الأمريكية. وهذه المفاعلات على نوعين: مفاعلات الماء المضغوط (**PWR**) ومفاعلات الماء المغلي (**BWR**)، في مفاعلات الماء المضغوط هناك نظام مغلق للماء لنقل الحرارة من قلب المفاعل إلى المرجل (المبادل الحراري) حيث يتولد البخار في دائرة ثانوية لتدوير العَنَفَة (التربينة) (انظر الشكل 10-4). أما في مفاعلات الماء المغلي فيسمح للماء المار في قلب المفاعل بالغليان ويمرر البخار المتولد مباشرةً إلى العَنَفَة (التربينة). ومن الأنواع الأخرى من المفاعلات المبردة بالماء المفاعل الكندي (**كندو**) الذي يستخدم الماء الثقيل مهدئًا للنيوترونات.




شكل (10- 4) التركيب الأساسي في مفاعلات الماء المضغوط

أما في المملكة المتحدة فقد كانت وجهة التطوير مغايرة، ما أدى إلى تصنيع جيلين من المفاعلات المبردة بالغاز: ففي الجيل الأول الذي يدعى مفاعلات ماكنوكس يحتوي القلب على تركيب كبير جدًّا من الجرافايت تتخللها قنوات تحوي قضبان وقود اليورانيوم الطبيعي مبطنة بسبيكة من المغنيسيوم وتبرد بغاز ثاني أكسيد الكربون، الذي يمر بمرجل، حيث يتولد البخار كما هي الحال في مفاعل الماء المضغوط. أما الجيل الثاني من مفاعلات المملكة المتحدة فيدعى المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز (AGR)، وقد استخدمت بطانة الوقود في هذه المفاعلات من الفولاذ المقاوم للصدأ من أجل الوصول إلى درجة حرارة تشغيل أعلى. وقد تطلب هذا يورانيوم مخصبًا كما هو مناقش في الباب اللاحق. والشكل (10-5) يصور محطة مثالية لمفاعلات ماكنوكس. ويصور الشكل (10-6) محطة مثالية لمفاعلات الماء المضغوط.

وقد طور نوع آخر من المفاعلات في فرنسا واليابان - بصورة خاصة - وهو المفاعل السريع المنتج (FBR) المبرد بالصوديوم، ويعرف في بعض الأحيان بالمفاعل السريع المنتج المبرد بالمعدن السائل (LMFBR)، إن الفكرة الأساسية لهذا المفاعل السريع هي استخدام وقود البلوتونيوم المستحصل من الوقود المستهلك للمفاعلات الحرارية الذي سيولد فيما بعد كمية كافية من البلوتونيوم تكفي حاجته من الوقود، وذلك بامتصاص اليورانيوم - 238 الموجود داخل وحول قلب المفاعل للنيوترونات، ولكن تطوير المفاعلات السريعة[1] قد تباطأ بشكل كبير نتيجة المشكلات الهندسية الصعبة التي أدت إلى زيادة التكلفة بشكل ملحوظ وبسبب عدم حدوث الندرة المتوقعة لليورانيوم.

ومن الأمور الأكثر حداثة تجدد الاهتمام في المفاعلات المبردة بالغاز المرتفع درجة الحرارة (HTGR)، الذي يستخدم غازًا لتبريد وقود اليورانيوم السيراميكي، وفي أحد التصاميم (المعروفة بمفاعلات (Pebble Bed) يتكون الوقود من آلاف عدة من كريات السيراميك يمر خلالها الهليوم لإزالة الحرارة، ودرجة حرارته عند خروجه من قلب المفاعل

(1) يوجد حالياً مفاعل سريع واحد يعمل في روسيا، أما بقية المفاعلات فقد أوقفت عن التشغيل.

أعلى بكثير مما هو في المفاعلات الحالية المبردة بالغاز، لهذا يمكن من الناحية النظرية عمل دائرة مباشرة للعنفة، ولكن هذه المفاعلات تشكل تحديات إشعاعية غير مألوفة.

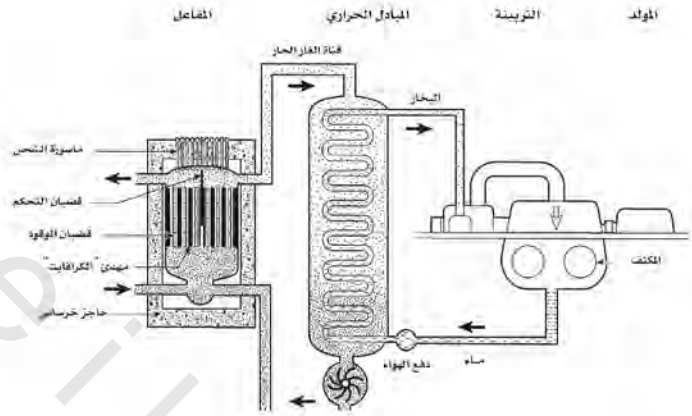
إن السمة الرئيسة لأي مفاعل نووي هي القلب الذي يحوي كلاً من المواد الانشطارية، ووسيلة التحكم في معدل الانشطار، ومهدئ في حالة المفاعلات الحرارية، وليس في حالة المفاعلات السريعة. أما السمات الأخرى الرئيسة فهي: نظام التبريد لإزالة الحرارة المتولدة من الانشطار، والحواجز الواقية (الدروع) من الإشعاع التي تدعى عادة الحواجز الإحيائية (البايولوجية).

وستناقش هذه السمات المختلفة فيما يلي:

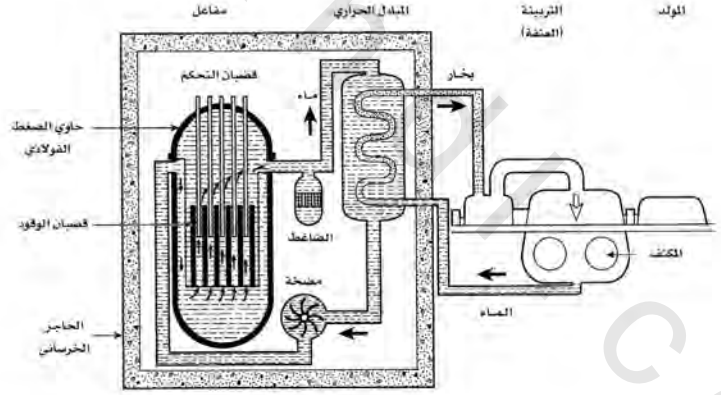
## 10- 3- 2 قلب المفاعل النووي ونظام التحكم:

يحتوي قلب المفاعل على قضبان الوقود التي تتركب من مواد انشطارية في حلية للوقود، أو تكون مغطاة بمواد مبطنة تمنع هروب نواتج الانشطار، والوقود المستخدم عادة هو اليورانيوم، ويستخدم في بعض الأحيان البلوتونيوم والثوريوم. يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 0.7 بالمائة من نظير اليورانيوم - 235 ($U^{235}$) وعلى 99.3 بالمائة من اليورانيوم - 238 ($U^{238}$). إن مفاعلات المكنوكس والكندو تعمل على نحو مقبول باستخدام اليورانيوم الطبيعي. أما في المفاعلات الأخرى، فمن الضروري زيادة نسبة اليورانيوم - 235 بعملية تخصيب.

يقوم المهدئ بتبطئة النيوترونات السريعة المتولدة في الانشطار إلى مستوى الطاقة الحرارية، حيث يزداد عندها احتمال تسببها في إحداث انشطارات جديدة. أما في أنظمة مفاعلات الماء الخفيف، فيقوم الماء بعمليتي التهدئة والتبريد، أما في أنظمة الغاز المبرد فإن الجرافايت يعمل بوصفه مهدِّئًا.




شكل (10- 5) رسم توضيحي لمفاعل "ماكنوكس" النووي




شكل (10- 6) رسم توضيحي لمفاعل الماء المضغوط

تتركب قضبان التحكم من مواد لها مقاطع مستعرضة كبيرة لأسر النيوترونات مثل البورون والكادميوم، ويؤدي رفع قضبان التحكم إلى موضع معين يصبح المفاعل فيها حرجاً، والزيادة في رفعها يؤدي بالمفاعل إلى أن يصبح فوق الحرج، فيزداد بذلك معدل الانشطار، وعند الوصول إلى الطاقة المطلوبة تدخل قضبان التحكم حتى يصبح المفاعل

حرجًا، وبهذا تثبت الطاقة. ويمكن خفض الطاقة بإدخال قضبان الوقود إلى ما تحت الحرج، وإذا ما زاد فيض النيوترونات عن حد معين أو كانت زيادة فيض النيوترونات سريعة جدًّا تدخل قضبان التحكم آليًّا، وهناك في بعض الأحيان قضبان خاصة لوقف المفاعل، وإن هناك أنظمة متعددة أخرى للمراقبة تعطي معلومات تتمكن بها من وقف المفاعل إذا ما حدث خلل ما، فمن هذه الأنظمة مراقبة ارتفاع مستويات أشعة جاما خارج الحاجز الإحيائي، والزيادة الملحوظة في درجة حرارة القلب أو المبرد أو عند توقف دوران المبرد.

### 10- 3- 3 نظام التبريد:

يؤدي الانشطار إلى إطلاق حرارة في داخل الوقود يتبعها ارتفاع في درجة حرارته والبطانة، وتزال هذه الحرارة بواسطة المبرد، فينتج البخار إما مباشرة أو بصورة غير مباشرة لتدوير العنفة (التربينة)، وقد تم توفير أنظمة ثانوية عدة لتنقية المبرد، ولأخذ العينات وغير ذلك.

يجب أن يكون الأمان في نظام التبريد عاليًا جدًّا لأن معظم المبردات تصبح مشعة إلى حد ما، وإن أي تسرب منه ولو كان قليلاً جدًّا يؤدي إلى مشكلات تلوث إشعاعي. أما التسربات الكبيرة من المبرد فقد تؤدي إلى خفض مقدار الحرارة المزالة من القلب وتهدد سلامة المفاعل. ومن المهم أن يفهم بوضوح أن تحلل نواتج الانشطار في مفاعلات الطاقة يولد كمية لا يستهان بها من الحرارة، ولهذا لا بد من توافر التبريد بعد توقف المفاعل.

### 10-3-4 الحاجز الإحيائي (الخاص بحماية الأحياء):

الهدف من الحاجز الإحيائي هو خفض النيوترونات وأشعة جاما الصادرة من قلب المفاعل ومن نظام التبريد، حتى لا يتعرض موظفو تشغيل وصيانة المفاعل إلى جرعات زائدة. وأكثر المواد شيوعاً في عمل الحواجز كل من الرصاص والخرسانة والحديد والماء

والبوليثين، ومعامل تخفيض الإشعاع المطلوبة في مفاعلات الطاقة هو بحدود $10^{8}$ إلى $10^{8}$، وقد يظهر الوهن في الحاجز، حيث توفر قنوات التبريد وثقوب أخرى ممرات لتدفق الإشعاع.

يتكون الحاجز عادة من جزأين، هما: الحاجز الأساسي حول قلب المفاعل والحاجز الثانوي حول نظام التبريد. إن هذا الترتيب يسمح بالوصول إلى نظام التبريد (المدورات والمبادلات الحرارية... إلخ) عند غلق المفاعل حيث يعمل الحاجز الأساسي على خفض أشعة جاما المتولدة من تحلل نواتج الانشطار.

## 10-4 تزويد المفاعلات بالوقود:

يمكن أن ينتج الكيلو غرام الواحد من اليورانيوم الطبيعي (يملأ نحو حيز 50 سم$^3$) في المفاعل النووي طاقة تصل إلى ما مقداره عشرة أطنان من الفحم الحجري تحرق في محطة طاقة تقليدية، هذا على الرغم من استهلاك 0.3 بالمائة فقط من ذرات اليورانيوم، وهذه النسبة تمثل تقريباً 40 بالمائة من ذرات اليورانيوم - 235 القابلة للانشطار. ونسبة اليورانيوم التي يمكن تحويلها إلى طاقة محدودة؛ لأن النسبة المتبقية ستصل في نهاية المطاف إلى حد غير كافٍ لإدامة تفاعل متسلسل. وإضافة إلى ذلك، فإن نواتج الانشطار المتولدة تشكل ضغطاً في الوقود يؤدي إلى انتفاخ القضبان وتشوهها، ولذلك فعندما يصل قضيب الوقود إلى الدرجة المطلوبة من الاحتراق يجب أن يستبدل بقضيب جديد (تذكر أنه مشع جدًّا).

في المفاعلات الكبيرة المبردة بالغاز يتم التزود بالوقود في أثناء تشغيل المفاعل، وتتم العملية بواسطة ماكينة تزويد وتفريغ تشغل عن بعد يكون موضعها فوق المفاعل، وتقوم برفع غطاء الحاجز الإشعاعي، وترتبط بوعاء الضغط، وتزيل غطاء قناة الوقود ثم ترفع الوقود المستهلك من القناة إلى الماكينة الحاجزة تماماً للإشعاع، وتستبدل به قضبانًا جديدة. وعندما تحوي الماكينة الحصة الكاملة من قضبان الوقود تتحرك إلى موضع

تتمكن معه من إطلاق القضبان عن طريق قناة مائلة حاجزة للإشعاع إلى خزان كبير من الماء يعرف بحوض التبريد الذي يوفر الحجز الإشعاعي والتبريد للقضبان المستهلكة. والماكينة مصممة بحيث تجعل هذه العمليات أمينة تماماً، ولهذا توفر حجزاً عن قلب المفاعل فوق الفتحة غير المغلقة، وتوفر الحجز عن قضبان الوقود المستهلك داخل الماكينة، وتمنع أيضاً تسرب الغاز أو التلوث، وتوفر كذلك تبريداً لقضبان الوقود المستهلك، (الحرارة المتولدة من تحلل نواتج الانشطار في القضيب عند إزالته من المفاعل تكفي لزيادة سخونته إلا إذا توافر له تبريد خارجي).

في مفاعلات الماء الخفيف (الاعتيادي) لا يمكن تزويد المفاعل بالوقود في أثناء التشغيل لأسباب عدة، وتتم عملية التزود خلال الإيقاف السنوي عندما يستبدل نحو ثلث الوقود. وتشمل هذه العملية إفاضة قناة فوق وعاء ضغط المفاعل، ثم إزالة غطاء وعاء المفاعل ورفع قضبان الوقود الواحد تلو الآخر إلى تجويف مملوء بالماء، ثم ينقل الجميع عن طريق القناة إلى حوض الخزن.

## 10ـ5 الأخطار الإشعاعية للمفاعلات:

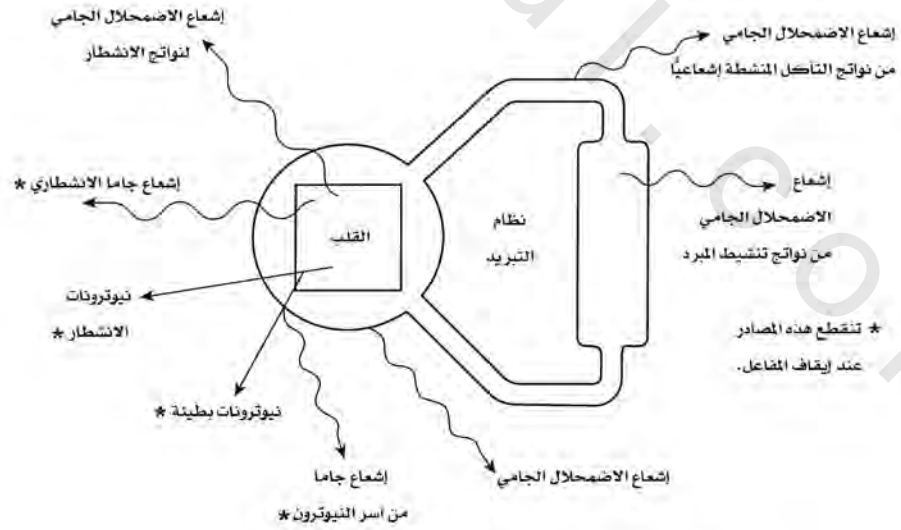
### 10- 5-1 عموميات:

تكون الأخطار الإشعاعية للمفاعلات ـ عموماً ـ أقل عند تشغيل المفاعل منها عند إيقافه، وقد صمم الحاجز الإشعاعي بحيث تكون الجرعات الإشعاعية مقبولة في الأماكن التي تتطلب فيها عمل الأشخاص، وهذا مثبت بالمسح الدقيق عند البدء في تشغيل المحطة، ويستمر بعد ذلك على مدد منتظمة، كما وفرت الأنظمة الأمنية التي تسمح بأخذ عينات من المبرد ومن غيره من السوائل المشعة. وفي خلال مدة إيقاف المفاعل يجري كثير من الأعمال غير الرتيبة، بعضها يجري على أنظمة مرتفعة الإشعاع جدًّا، ويجب التحكم الدقيق في مثل هذه المدد في تعرض الأشخاص للإشعاع وللتلوث الإشعاعي.

قد يؤدي خطأ جسيم أو تشغيل غير سوي إلى تلف ملموس في المحطة النووية، ثم يتسبب في مستويات خطيرة من الإشعاع أو من التلوث الإشعاعي. فإذا ما كان الخطر محدوداً بموقع المفاعل فيدعى عادة بطارئ موقعي، أما إذا ما امتد خطره إلى خارج الموقع فقد يصبح طارئاً عموميًّا. وقد غطيت الحوادث التي من هذا النوع في الفصل السادس عشر.

## 10-5-2 مصادر الإشعاع:

المصادر الرئيسة للإشعاع في المفاعل في أثناء التشغيل هي القلب والمبرد، فالإشعاع من القلب يشمل كلاً من نيوترونات الانشطار وأشعة الانشطار الجامية، وجاما المتولدة من تحلل نواتج الانشطار، ومن أشعة جاما المتولدة نتيجة أسر النيوترونات، ومن التحلل الجامي للمواد المنشطة إشعاعيًّا، ويحصل الأخيران - بصورة رئيسة - في تركيب قلب المفاعل، وفي الحاجز. أما الأشعة الصادرة من المبرد فهي بصورة رئيسة أشعة جاما بسبب تنشيط كل من المبرد والشوائب التي يحتويها، وبسبب تلوث المبرد بنواتج الانشطار. وهذه المصادر موضحة في الشكل (10-7).




شكل (10-7) مصادر الإشعاع في نظام المفاعل النووي

### الإشعاع من قلب المفاعل النووي:

النيوترونات المتولدة في المفاعل نتيجة عملية الانشطار هي نيوترونات سريعة تتراوح طاقتها ما بين 0.1 إلى 15 ميجا إلكترون فولت. أما المعدل فهو نحو 2 ميجا إلكترون فولت، وتكون النيوترونات التي تخترق الحاجز الإحيائي قد مرت بدرجات متفاوتة من التهدئة، ولهذا يمكن وجود نيوترونات مختلفة الطاقة تتباين من الطاقات الحرارية وحتى الطاقات السريعة.

وأشعة جاما المتولدة من الانشطار هي تلك التي تنطلق مباشرة بعد الانشطار، وهي متفاوتة بالطاقة من 0.25 إلى نحو 7 ميجا إلكترون فولت. أما أشعة جاما المتولدة من تحلل نواتج الانشطار في قضبان الوقود فتعدّ قليلة بالمقارنة بأشعة جاما المتولدة نتيجة الانشطار، ولكن عند إقفال المفاعل تتوقف الأشعة الأخيرة، في حين تستمر نواتج الانشطار في إطلاق الأشعة سنوات عدّة بعد رفع الوقود من المفاعل.

ويؤدي أسر النيوترونات في مواد تركيب المفاعل وفي الحاجز إلى إطلاق ما يسمى **بأشعة جاما الأسر**، وتجعل هذه المواد مشعة، وتستمر الأشعة المتولدة من تحلل هذه المواد في الانطلاق حتى بعد وقف المفاعل كما هي الحال في نواتج الانشطار، واستطارة النيوترونات تقود إلى إطلاق أشعة جاما، ولكن لا تسبب عادة تنشيطاً إشعاعيًّا.

### الإشعاع من المبرد:

يعدّ التفاعل المهم في كل من المفاعلات المبردة بالماء والمبردة بثاني أكسيد الكربون ـ كما ذكرنا سابقاً ـ هو:

$$^{16}O(n,p)^{16}N$$

لأن النيتروجين - 16 يتحلل بعمر نصف قدره 7.2 ثانية باعثاً أشعة جاما شديدة الاختراق (6.1 ميجا إلكترون فولت)، وهذا يعني أن دائرة مبرد المفاعل مصدر مهم لأشعة جاما، وينبغي حجزها في بعض الأحيان.

ولقد استعمل الهواء في التبريد في أوائل المفاعلات التي صممت، واستعمل في مفاعلات ماكنوكس لتبريد الحاجز الإحيائي، ويوجد الهواء كشوائب في المفاعلات المبردة بالغاز وبالماء، فالأرجون الموجود في الهواء بنسبة 1.3 بالمائة يتنشط بالتفاعل الآتي:

$$^{40}Ar(n,\gamma)^{41}Ar$$

ويتحلل الأرجون-41 بعمر نصف قدره 1.8 ساعة باعثاً أشعة جاما بطاقة 1.29 ميجا إلكترون فولت. أما في المفاعل المنتج السريع المبرد بالمعدن السائل، والذي يستخدم الصوديوم مبردًا، فإن النواتج المهمة المنشطة إشعاعيًا هي الصوديوم -22 والصوديوم-24.

ومع أن مبردات المفاعلات تعدّ نقية جدًّا بالمعايير الاعتيادية، لكنها تحوي دائماً بعض الشوائب، وعندما يتعرض لفيض عالٍ من النيوترونات في قلب المفاعل تصبح هذه الشوائب مشعة إلى درجة ملحوظة. وتتولد الشوائب نتيجة التآكل والتعرية في القلب وفي جهاز التبريد، فمثلاً في مفاعلات ماكنوكس والمفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز يتجمع غبار الكرافايت (حيث يحتوي نفسه على شوائب) حول جهاز التبريد. وفي المفاعلات المبردة بالماء يعدّ الحديد والكوبلت والمنغنيز من الشوائب المعتادة بسبب تآكل جهاز التبريد، ويؤدي ترسب هذه المواد المتآكلة في قلب المفاعل إلى تراكم طبقة رقيقة من نواتج التآكل على سطح الوقود، تصبح هذه الطبقات مشعة جدًّا بسبب النيوترونات.

إن استمرار انطلاق المواد من قلب المفاعل وترسبها بعد ذلك في منطقة ما خارج القلب تؤدي إلى تراكم المواد المشعة في جهاز التبريد.

يحتوي مبرد المفاعل عادة على مستويات من التلوث بنواتج الانشطار يسهل كشفها، وهذا يحدث نتيجة:

(1) التلوث باليورانيوم من سطح قضيب الوقود.

(2) شوائب اليورانيوم في مادة بطانة الوقود.

(3) التحرر من قضيب وقود تالف.

وينظف المبرد باستمرار بواسطة وحدة تنظيف؛ كي لا تتراكم نواتج الانشطار طويلة العمر إلى درجة ملحوظة. وسبب النشاط الإشعاعي الرئيس لنواتج الانشطار عادة هما الغازان الخاملان الكربتون-88 ($^{88}Kr$) والزينون-138 ($^{138}Xe$) وولائدهما الجسيمية الروبديوم-88 ($^{88}Rb$) والسيزيوم-138($^{138}Cs$)، ونظائر اليود-131($^{131}I$) و133 ($^{133}I$) و135($^{135}I$). هذا وقد يقود التلف الشديد في أحد قضبان الوقود إلى انتشار ملحوظ لنواتج الانشطار الإشعاعي في وحدة المبرد، ولهذا تزود معظم المفاعلات المبردة بالغاز بوحدة تعرف بوحدة اكتشاف **الخلايا المنفجرة**[1]، تقوم بصورة آلية ـ وباستمرار ـ بتحسس كل قناة للوقود على الترتيب؛ لتعطي إنذاراً إلى موظف التشغيل إذا ما حدثت زيادة في النشاط الإشعاعي لنواتج الانشطار. وفي هذه الحالة يمكن تفريغ القناة الحاوية لخلية الوقود التي فيها عطب وذلك لاستبدال القضيب التالف. يتم الكشف عن وجود نواتج الانشطار في المبرد في المفاعلات المبردة بالماء بالتحليل الكيميائي الإشعاعي.

## 10- 5- 3 مصادر التلوث الإشعاعي:

**مشعات بيتا:** تتحلل كل من النويدات المشعة تقريباً والمذكورة في الفقرات السابقة بإطلاق جسيمات بيتا، ومن السهولة بمكان أسر أشعة بيتا بحيث لا يحتاج إليها مصممو الحاجز الإشعاعي كي يضعوها في الحسبان، بل يركزون على أشعة جاما المصاحبة لها، فإذا ما حدث تلوث إشعاعي بسبب تسرب مواد مشعة من وحدة المفاعل تصبح آنذاك أشعة بيتا ذات أهمية بالغة.

هناك نويدة مشعة ذات أهمية ملحوظة تتولد في جميع وحدات المفاعل وهي التريتيوم ($^{3}H$). ولهذه النويدة عمر نصف قدره 12.3 سنة. وتتحلل بإطلاق جسيمات بيتا المنخفضة الطاقة فقط، وتتولد بالانشطار كما تتولد بتفاعل $(n,\gamma)$ للديوتيريوم (الهيدروجين الثقيل)، وبتفاعلات أخرى مختلفة مع الليثيوم والبورون، ففي المفاعلات التي

(1) خلية الوقود Fuel Can مجموعة من قضبان الوقود توضع في قناة واحدة.

تبرد أو تهدئ بالماء الثقيل تتراكم كمية كبيرة من التريتيوم، في حين يكون هذا التراكم أقل تأثيراً في مفاعلات الماء الخفيف، نظراً لقلة نسبة الهيدروجين الثقيل فيه ولتغييره المستمر (ليس من السهل استبدال الماء الثقيل، وذلك لغلاء ثمنه). ويحتوي الكرافايت على الليثيوم كشوائب، ولهذا يتولد التريتيوم في مفاعلات ماكنوكس والمفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز بالتفاعلات الآتية:

$$^{6}Li(n,\alpha)^{3}H \quad and \quad ^{10}B(n,2\alpha)^{3}H$$

**تسرب المبرد:**

يمكن بالطبع أن يحدث تلوث بسبب تسرب المبرد، ففي مفاعلات الماء المضغوط يمكن أن يكون التسرب مباشراً إلى الجو أو أن يكون عن طريق المبادل الحراري إلى وحدة التبريد الثانوية، وفي هذه الحالة تحمل المواد المشعة وخاصة الغازات المشعة وهي $^{88}Kr$ و$^{138}Xe$ و$^{41}Ar$ مع البخار إلى العنفة (التربينة)، ومنها إلى الجو عن طريق المضخة النافورية للهواء المكثف. تتحلل نواتج الانشطار الغازية الكربتون-88 ($^{88}Kr$) والزينون-138 ($^{138}Xe$) إلى ولائدهما $^{88}Rb$ و $^{138}Cs$. أما التسرب في المبادل الحراري للمفاعل المبرد بالغاز فيؤدي عادة إلى تسرب البخار إلى الوحدة الرئيسة بسبب ارتفاع ضغط الوحدة الثانوية.

**الاحتواء:**

يحتوي قلب المفاعل تحت التشغيل على نحو 0.2 تيرا بيكريل من نواتج الانشطار لكل واط من طاقة التشغيل؛ لذا فالمفاعل الذي يشتغل بطاقة 1000 ميجاواط يحتوي على $2 \times 10^{8}$ تيرا بيكريل من نواتج الانشطار. وتحتوي هذه الكمية الهائلة من المواد المشعة داخل خلية الوقود أو بطانته، ويدعى هذا عادة المستوى الأول من الاحتواء. أما المستوى الثاني من الاحتواء فهو عند حدود الوحدات الرئيسة وهي وعاء الضغط

ووحدة التبريد، وهذه الحدود تحوي كذلك المواد المشعة في المبرد التي قد تصل بضع مئات من تيرا بيكريل في المفاعل نفسه، فإذا ما بقي الحاوي الأساسي والثانوي سليمين فليس هناك إلا خطر قليل في حدوث تلوث كبير، ومن المتوقع أن يحدث فعلاً بعض التلوث خلال تشغيل معظم المفاعلات. فمثلاً إن من الضروري أخذ عينات من المبرد بصورة دورية حيث غالباً ما تجد دفقاً مشعًّا، ويمكن أن تقع أخطار التلوث في كلتا الحالتين، ولكن يمكن تقليل الأخطار بالتصميم الجيد للتجهيزات.

يشير مصطلح احتواء المفاعل في استعماله العام إلى الهيكل الذي يحوي كل وحدات المفاعل بأجزائها وتوابعها، مثال على ذلك الكرة المعروفة لمفاعل دونريه السريع. إن عمل هذا الحاوي هو حماية عموم المواطنين بتقليص تسرب نواتج الانشطار في حالة وقوع حادث خطير في المفاعل (انظر الفصل السادس عشر).

## 10- 5- 4 المفاعل الموقف:

**الصيانة:**

يشكل المفاعل استثماراً كبيراً لرأس المال، ولهذا فإن مدد وقف المفاعل سواء أكانت سابقة الإعداد أم لا فإنها مكلفة. إن وحدات المفاعل بسيطة نسبيًّا ومرتبة جيدًا، وهي في العادة موثوقة جدًّا، ومعظم الصيانة التصحيحية والوقائية تجرى على الأجهزة الفرعية أو الثانوية. أما الصيانة العامة الرئيسة فقد تشمل تنظيف التلوث وتركيب مدورات تبريد وأنظمة قضبان التحكم، وفحص المبادلات الحرارية وأعمالاً أخرى متنوعة في الوحدات المشعة. ونظراً لضرورة الالتزام الدقيق بالمواعيد في هذه المدد، فإن ذلك قد يقود إلى انخفاض عام في معايير السلامة الإشعاعية والتقليدية التي قد تؤخر العمل. ولمنع حدوث مثل هذه الحالات يجب التخطيط لجميع الأعمال الرئيسة بالتشاور مع المجاميع ذات الشأن. ومن المستحسن في بعض الأحيان التدرب على الأعمال الصعبة

مسبقاً، ويجب أن يحصل الموظفون على تعليمات في مجال السلامة العامة، ويكونوا على علم بالأخطار المرافقة للعمل الذي يزاولونه.

**الإشعاعات الخارجية:**

عند وقف المفاعل يقوم الحاجز الأول بالحماية اللازمة عن نواتج الانشطار في قلب المفاعل، وسبب الأخطار الإشعاعية للعاملين في الوحدة الأساسية هو المواد المشعة في داخل الوحدة نفسها، ويميل معدل الجرعة في جوار الوحدة الأساسية إلى الانخفاض بسرعة خلال الأربع والعشرين ساعة التي تلي وقف المفاعل، ويعود السبب الرئيس في ذلك إلى تحلل المواد المشعة في المبرد، وإلى عملية التنظيف التي تتم بواسطة وحدة المعاملة، وبعدها لا تتغير المستويات الإشعاعية بصورة ملحوظة من يوم لآخر، فأعمار أنصاف معظم نواتج التآكل المشعة تتراوح ما بين شهر واحد إلى نحو خمس سنوات، وتتباين معدلات الجرع بصورة كبيرة من مفاعل إلى آخر. وفي الوحدات التي فيها مشكلات تآكل يمكن مواجهة معدلات للجرع تتراوح ما بين 10 إلى 100 ملي سيفرت في الساعة في بعض الأقسام. وإذا ما كان معدل الجرع زائداً فمن الممكن في بعض الأحيان توفير حماية إشعاعية إضافية في النقاط الحارة[1]. والطريقة البديلة هي إزالة التلوث في القسم، ولا يمكن أن يتم هذا إلا خلال مدد التوقف الرئيسة.

تتطلب المناطق ذوات معدلات الجرع الإشعاعية العالية تحكماً دقيقاً للعاملين فيها، ويأخذ هذا التحكم عادة شكل مراقبة شخصية في مدخل المنطقة. ويقيّد الشخص الذي يدخلها بساعات محددة للعمل بناء على المسح الإشعاعي للمنطقة، ويعلق الشخص مقياساً مباشراً للجرعة الإشعاعية مثل مقياس الجرع الإلكتروني، ويوضع في السجل أوقات الدخول والخروج وقياس الجرعة.

(1) النقاط الحارة Hot Points ترمز إلى المناطق المرتفعة الإشعاع كما هي الحال في الخلايا الحارة Hot Cells.

### التلـوث:

عندما تتطلب الصيانة اختراق وحدة التبريد الأساسية فمن المتوقع حدوث تلوث، ومن البدهيات الضرورية عند الاختراق الأول لقسم من الوحدة إزالة ضغط هذا الجزء. ومن الممارسات الجيدة أن يرتدي الموظفون المشاركون قناعاً كاملاً للوجه عند الدخول الأول إلى أحد أقسام الوحدة.

وتقيّم مواصفات ملابس الحماية المتطلبة عند اختبارها على محطة بعينها، وهناك عادة عوامل أخرى تؤدي دوراً في اختيار ملابس ومعدات الحماية مثل درجة الحرارة والرطوبة واحتمال وجود غازات سامة، ويجب ألا يكون متوقعاً أن يلبس العاملون ملابس كاملة مثل بذلة الـ **PVC**[1] في درجات حرارة من 40° إلى 50° مئوية، إلا إذا كانت البذلة مكيفة الهواء بالكامل، وهذا بدوره يسبب صعوبات في الحيز المحدود نتيجة ما يتطلبه من توصيلات للهواء. أما إذا كانت مستويات التلوث ملحوظة فينصح بوجود مرافق للمساعدة في إزالة الملابس الملوثة، وفي العادة يكون الشخص نفسه الذي يراقب دخول الأشخاص. وتجري أيضًا مراقبة دورية لمستويات الإشعاع في داخل المنطقة وخارجها.

## 6.10 ـ مفاعلات الأبحاث:

لمفاعلات الأبحاث المتعددة الأنواع مشكلات خاصة في الفيزياء الصحية؛ لأن لها أغراضها وتطبيقات واسعة تشمل كلاً من البحوث البحتة، واختبار المواد، والإنتاج التجاري للمصادر المشعة. والمصدر الرئيس للمشكلات الإشعاعية في هذه المفاعلات -في العادة- أجهزة التجارب لا المفاعل نفسه، فمثلاً هناك ثقوب عدة في الحاجز عملت للحصول على فيض عالٍ من النيوترونات خارج المفاعل لأغراض متعددة، ما يؤدي

(1) الـ **PVC** اختصار للاسم الإفرنجي **Vinyl Poly Chloride** وهو أحد أنواع البلاستك.

بالمحمل الحاوي للأجهزة التجريبية، أو المواد أن تصبح شديدة النشاط الإشعاعي. وفي هذه الحالات وغيرها يجب أن تتخذ احتياطات خاصة لحماية مشغلي المفاعل ومستعمليه.

## 10ـ7 أحواض الوقـود:

### 10-7- 1 مقدمـة:

من المعتاد بعد رفع الوقود المستهلك من المفاعل، أن يوضع في مخزن للوقود أو في حوض تبريد على مقربة من المفاعل أشهرًا عدّة للسماح للوقود بالتحلل الإشعاعي. إن هذا الأجراء يسهل بعض المشكلات المتعلقة بنقل الوقود ذي النشاط الإشعاعي العالي من موقع المفاعل إلى محطة المعالجة.

تشكل الأحواض خطرين خاصين، إضافة إلى مشكلات التشغيل الرتيبة، وهما: **حصول الكتلة الحرجة** (الحراجة)، وحوادث **فقدان الحاجز الإشعاعي**.

### 10-7-2 حصول الكتلة الحرجة:

تحوي الأحواض عادة كمية كافية من المواد الانشطارية لتصبح حرجة، أي لتبدأ تفاعلاً انشطاريًّا متسلسلاً. وعموماً إذا ما كان كل الوقود في الحوض من اليورانيوم الطبيعي، فمن غير الممكن حصول الكتلة الحرجة حتى في أسوأ الحالات، أما إذا كان الوقود في الحوض من اليورانيوم المخصب أو من غيره من المواد الانشطارية مثل البلوتونيوم؛ فيمكن حصول الكتلة الحرجة. وتتم السيطرة على هذه الأخطار بخزن الوقود في تشكيلة أمينة، وذلك بترك مسافات كافية بين قضبان الوقود، أو بتحديد عدد قضبان الوقود التي قد تكون خارج موضع خزنها في أي لحظة.

### 10- 7- 3 فقدان الحاجز:

يحتوي حوض الخزن المثالي عادة على آلاف تيرابيكريل من نواتج الانشطار المشعة، وقد يحتوي القضيب الواحد على مئات تيرابيكريل. إن مثل هذا القضيب غير المحجوز يتسبب في حصول جرعة من أشعة جاما تزيد في معدلها على 1 سيفرت/ ساعة على بعد ثلاثة أمتار، وبالطبع يجب ألا يسمح لمثل هذه الحالة أن تقع.

إن فقدان الحاجز قد يحدث بفقدان ماء الحوض، أو برفع الوقود قريباً من سطح الماء، والنوع الأول الأكثر احتمالاً في الوقوع يكون سببه غالباً حادث ضخ الماء إلى الخارج، وليس بسبب تلف كبير في بناء الحوض، ويمكن تقليل احتمال وقوع ذلك بالتصميم الجيد لوحدة الماء، والتحكم الإداري في الوحدة (مثل وضع أقفال على الصمامات الرئيسة).

إن من الصعب التوقي تماماً ضد حوادث مداولة الوقود دونما فقدان محاسن الحاجز المائي مثل إمكانية الرؤية خلاله والمرونة.

إن التصميم الجيد للآلة الرافعة يجعل من المستحيل رفع الوقود عالياً جدًّا، إذا ما استخدمت الآلة المخصصة لذلك طبعاً، والبراعة القليلة يمكنها التفوق على أحسن الأنظمة.

ويمكن الاعتماد بصورة ملحوظة على مرقاب أشعة جاما المنصوب؛ لأنه يعطي تحذيراً عند الحالات التي تشكل خطورة.

### 10-7- 4 شؤون التشغيل:

تحجز نواتج الانشطار المشعة داخل بطانة الوقود، فإذا ما حدثت ثغرة في البطانة؛ فإنها ستقود إلى تلوث الماء بنواتج الانشطار إلى حد ما تبعاً لنوع الوقود. وكثير من أحواض الخزن تحوي وحدة لاستخلاص الهواء تقوم بمسح سطح الماء، وذلك كإجراء احتياطي ضدَّ تحرر نواتج الانشطار الغازية التي ستنطلق بسرعة من سطح الماء بعد

تحررها، كما يحدث بعض التلوث للماء نتيجة تحرر النواتج المشعة من تآكل سطح بطانة الوقود. ولمنع تراكم النشاط الإشعاعي في الماء فقد زُودت الأحواض بوحدة للمعالجة، وقد يكون من الضروري توافر مبرد للماء في بعض الأحيان تبعاً لكمية الوقود المخزون.

وعمليات القطع في الحوض يمكنها أن تقود إلى مشكلات تلوث خطيرة من النشارة المتولدة عند قطع الوقود خاصَّةً. وقد يتعذر صيانة معدات القطع بسبب التلوث الشديد، ومستويات الإشعاع العالية.

## 10- 7- 5 أجهزة الحوض:

هناك ثلاثة أنواع من الأجهزة المستخدمة لإعطاء إنذار في الحالات الخطرة، وهي:

**( أ ) مراقب أشعة جاما المثبتة:**

من العلامات الأساسية في أي حوض من أحواض الخزن. ومن الضروري وجود ثلاثة أجهزة على الأقل تكون في مواضع غير محجوزة عن سطح الحوض، وإذا ما سجل أحد الأجهزة معدل جرعة منخفضًا إلى حد ما مثل 0.1 ملي سيفرت/ ساعة، فإنه يقوم بإعطاء إنذار داخلي مثل جرس أو طنان ينذر المشتغلين بأن هناك حالة فيها خطورة تتطور، أما في المستوى العالي من الإشعاع نسبيًّا مثل 10ملي سيفرت/ ساعة **في موقع المشتغلين**، فهناك جرس ينبه لإخلاء المبنى على أن يعمل هذا المنبه على جهازين من بين ثلاثة أو أربعة أجهزة لتجنب الإخلاء المزيف.

**(ب) عداد ماء الحوض:**

هذا جهاز بسيط يقوم بمراقبة الماء باستمرار؛ للكشف عن نشاط بيتا، ويعطي إنذاراً مبكراً عند حدوث تلف للوقود، وتستعمل لهذا الغرض عادة أنبوبة جايجر- ميولر للسائل المنساب مرتبط بمعدال.

**(جـ) مرقاب للهواء:**

يشتغل باستمرار لمراقبة الجسيمات المنتشرة جوًّا، ويوضع في المنطقة العامة أو في وحدة استخلاص الهواء، ويعطي إنذاراً عند ارتفاع مستوى الإشعاع المنتشر جوًّا بسبب العمليات التي تجري في الحوض، أو بسبب صيانة معداته.

## 10ـ8 معاملة الوقود:

يُنقل الوقود المشع إلى محطة معاملة الوقود بعد مدة من الخزن في حوض موقع المفاعل، من أجل خفض مستويات الإشعاع والحرارة الناتجة عنهما، وفي هذه المحطة يذاب الوقود في حامض النايتريك بعد مدة أخرى من الخزن، ويفصل المحلول كيميائيًّا إلى ثلاثة مجاميع رئيسة، هي: اليورانيوم غير المستهلك، والبلوتونيوم وجميع المخلفات الشديدة الإشعاع، التي تحوي كل نواتج الانشطار تقريباً، وكذلك الأكتينيدات الأعلى تأثيراً كالأمريسيوم والكوريوم.

وتطرح محطة المعالجة مشكلات إشعاعية تزيد على مشكلات المفاعل، وذلك بسبب طبيعة المعالجة، فمحطة المعالجة هي أساساً محطة كيميائية معقدة تعالج محاليل شديدة الإشعاع، ويجب أن تحجز بمتر أو أكثر من الخرسانة المسلحة عن مناطق التشغيل، ومع أنه قد توفرت التجهيزات التي تمكن من إجراء ذلك عن بعد، لكن لا مناص من الصيانة عن قرب. وعلى الرغم من إجراء تنظيف للتلوث لجزء المحطة المراد صيانته، فإن هذا التنظيف لا يمكن أن يكون تامًّا. وإضافة إلى ذلك، فإذا ما حدث تسرب للمحاليل المشعة ـ ولو كان قليلاً ـ إلى خلايا المحطة المحجوزة، فإن ذلك يؤدي إلى مشكلات إشعاعية وتلوث شديدين، ومن العسير تنظيف الخلية وسطوح المعدات من التلوث، فضلاً عما تستغرقه هذه العملية من طول في الوقت وطاقة في العمل.

لا يشكل جمع اليورانيوم أي مشكلات إشعاعية مؤثرة، ولكن جمع البلوتونيوم يتطلب درجة عالية من موصفات الاحتواء؛ لتجنب أخطار التلوث الشديد، ولا سيما الاستنشاق.

هذا إضافة إلى جمع المخلفات الشديدة الإشعاع التي تأخذ طريقها إلى خزانات خاصة؛ فإن هناك عدداً من مجاميع المخلفات المشعة الثانوية تعتمد معاملتها على الظروف المحلية، وسيأتي الحديث عن إدارة المخلفات المشعة في الفصل الحادي عشر.

والأمر الأهم هو احتمال وقوع حادث حرج؛ عند تصميم تجهيزات دورة الوقود وتشغيلها، فمثل هذا الحادث لن يؤدي فقط إلى إشعاع عالٍ من النيوترونات وأشعة جاما، بل سيقود إلى تناثر المواد المعاملة بسبب الطاقة المتحررة.

## 10- 9 إزالة التجهيزات النووية الزائدة:

مع إيقاف كثير من الجيل الأول من منشآت مفاعلات البحوث وتوليد الطاقة حالياً، أصبح إزالة المحطات النووية الزائدة من الموضوعات الرئيسة في هذا الميدان بغية الأمان، وتحسين اقتصاديات الصناعة النووية، ووقعها البيئي.

لقد تم إنشاء المحطات الأول دون أي اعتبار لإزالتها في نهاية المطاف، وأدى هذا في كثير من الحالات إلى تطلب طرق معقدة ومكلفة؛ لذا اقتضت الحاجة للتفكير في تصميم مناسب يسهل إزالة المنشأة مستقبلاً، ويتوقع أن يثمر ذلك فوائد إشعاعية واقتصادية على المدى البعيد.

إن المشكلات الخاصة التي تنشأ في التعامل مع المنشآت النووية الزائدة، منشؤها من الإشعاعية الباقية في المحطة في نهاية عمرها المفيد، ولهذا ثلاث عواقب تقنية:

- يتطلب احتواءً ذا مستوى رفيع للإشعاعية؛ لحماية السكان المحليين.

- الإشعاعية المتبقية في المحطة تشكل خطورة على العاملين الذين يتولون إزالة المحطة.
- إن الإنشاءات والمعدات المشعة، تشكل مصادر رئيسة مباشرة لسيل المخلفات المشعة، وبسبب المخلفات الثانوية الناتجة من عمليات إزالة التلوث والتفكيك.

إن مفتاح النجاح في مشروع الإزالة هو التخطيط المسبق، وهذا يبدأ عادة قبل سنوات من الموعد المحدد للغلق، وتبدأ الخطوات الأولى في وضع جرد مفصل للمحطة، وللمعدات والإنشاءات وتفصيل كامل لتصنيف الإشعاعية. وهذا التصنيف مبني على قياسات تفصيلية مبرمجة وملحقة بحسابات في معظم الأحيان، وهذا يسمح بتقدير جرد الإشعاعية كثير من المركبات المنوعة للمحطة، ويسمح كذلك بتقدير الأخطار الإشعاعية المتعلقة بعمليات التفكيك لغرض وضع الأسس لاختيار الطرق الهندسية، فمثلاً عندما تظهر التقديرات لمواجهة مستويات مرتفعة جدًّا من الإشعاع، ينبغي الأخذ في الحسبان استخدام معدات التشغيل عن بعد، والتصنيف الإشعاعي يسمح بتقدير المخلفات التي ستنتج ونوع التغليف المطلوب.

إن هدف برنامج الإزالة من وجهة النظر الإشعاعية هو التقليل المتتالي للأخطار التي تشكلها المحطة، لهذا فإن المرحلة الأولى للإزالة هي التنظيف العام للمنشأة وإزالة المواد المعالجة والمخلفات، وطبيعة المهام هذه مشابهة في معظم الأحيان لما يواجه خلال التشغيل. إن العمل الرئيس في هذه المرحلة في حال المفاعل هو رفع الوقود وإزالته من الموقع، وهذا يزيل جزءاً كبيراً من المخزون المشع، ويزيل أساساً احتمال حدوث تحرر كبير للإشعاعية، والمرحلة الأولى في محطات المعالجة هي تنظيف معدات المعالجة بعد إيقاف التشغيل، ويشار إليها بـ (**POCO**) لإزالة ما أمكن من مواد المعالجة، وتشمل المرحلة اللاحقة عادة إزالة المحطة الاحتياطية والمعدات، ولا سيما تلك المواد غير المشعة التي لا يحتاج إليها في عمليات الإزالة.

بعد هذه المرحلة يعتمد العمل المتبع لأي منشأة بعينها على عوامل عدة، وتشمل الموجودات المشعة وطبيعة اضمحلالها، وتكلفة الخيارات المختلفة، وهناك اختلافات مهمة في الأسس المشتملة في إزالة المفاعلات مقارنة بمنشآت معالجة الوقود أو محطات الإشعاع الأخرى، ذلك لأن الإشعاعية كلها تبقى تقريباً على شكل مواد مشعة لبنية المفاعل، أما في المنشآت الأخرى فتكون الإشعاعية فيها على شكل مخلفات معالجة، وتلوث عام لبنية المحطة والمعدات.

ولهذا، فإن إزالة التلوث من نظام المفاعل مع كونه خطوة مفيدة قد لا يقلل بشكل ملحوظ الموجودات أو التأثير الإشعاعي لتفكيك المحطة. في حين في الأنواع الأخرى للمحطات يعدّ إزالة التلوث المبكر العامل الأساسي فيما يتعلق بتعرض الأفراد وفي إدارة المخلفات المشعة، والفرق الآخر هو طبيعة اضمحلال الإشعاعية، ففي حالة المفاعل يستحوذ على المخزون عادة ناتج التشعيع كوبلت - 60 (عمر نصفه 5.0 سنة) لذا فإن في تأخير تفكيك المفاعل عقود عدة فائدة ملحوظة في تقليل تعرض المشغل وتقليل المخلفات المتولدة، أما في محطات الوقود فإن الفوائد الناشئة قليلة من مثل هذا التأخير، نتيجة طول أعمار أنصاف كثير من النويدات المشعة الموجودة في المحطة.

إن طبيعة عمليات الإزالة تتطلب مستويات عالية من المسح الفيزيائي الإشعاعي، وخلال تفكيك المعدات والبنية، هناك دائماً إمكانية حدوث أخطار إشعاعية غير متوقعة، تنتج مثلاً عن تحرر تلوث وفقدان حواجز مصدر مشع، ومهما كان تصنيف جودة المحطة من البداية فإن حوادث كهذه يمكن أن تحدث، وهذا يعني أنه ينبغي مراقبة الأوضاع الإشعاعية خلال عمليات التفكيك، وينبغي مراقبة مستويات تعرض العاملين بشكل مستمر، ويفضل أن يكون ذلك باستخدام مقياس جرعة إلكتروني يعطي قراءة مباشرة، وينبغي أن تبقى مستويات ملابس الوقاية والمعدات التي يلبسها العاملون تحت المراجعة، وقد تستدعي بعض العمليات حماية كاملة للجهاز التنفسي، ولكن إذا استخدمت هذه المتطلبات بشكل زائد يكون نتيجتها تبطئة العمل وزيادة الجرعة من المصادر الخارجية.

ومع أن المشروعات تنفذ بنظام الإدارة الصارمة، وتُستخدَم طرقٌ محددة مسبقاً وموافق عليها، فإن من المهم أن تكون الإدارة والنظام الموافق عليه فيهما قدر كافٍ من المرونة؛ حتى يمكن الاستفادة من الدروس المستقاة مع تقدم المشروع.

ومن الجوانب المهمة دائماً عند إزالة المنشأة لغرض تحرير الأرض التي كانت فيها المنشآت النووية أو الإشعاعية الأخرى، هناك إمكانية وجود مستويات منخفضة من الإشعاعية على سطح الموقع أو في أسفله، حتى بعد إزالة المحطة وبنيتها، ولهذا من الضروري قبل تحرير الموقع لاستخدام آخر، إجراء اختبارات منهجية دقيقة، وتصريح رسمي. والاختبارات تشمل برنامجاً مفصلاً لقياس الإشعاع مباشرة وأخذ عينات من التربة للتحليل المخبري، وعند الكشف عن مستويات ملحوظة من التلوث في الموقع، ينبغي اتخاذ برنامج معالجة للموقع، وهذا قد يشمل مسح مساحة الموقع وإزالة التربة إلى موقع رمي مخلفات مناسب وموافق عليه، وفي حالات أخرى تبعاً لمستويات ومدى التلوث ونوع النويدات الموجودة وخطة استخدام الموقع، قد يكون مقبولاً دفن التربة الملوثة مباشرة في الموقع نفسه، شريطة أن يكون الدفن عميقاً.

إن المعيار الذي يستند إليه في تحرير الموقع يختلف إلى حد ما من بلد لآخر. فلتحرير موقع نووي في المملكة المتحدة تعدّ الجهة المنظمة أن أي إشعاعية متبقية فوق الخلفية الطبيعية، التي يتبين أنها تشكل خطراً لأي شخص يقل عن واحد في المليون في السنة مقبولة بصورة عامة. وهذا يمثل متوسط معدل جرعة أعلى من الخلفية الطبيعية بنحو 20 مايكرو سيفرت/ سنة.

## خلاصة الفصل:

**الانشطار**: هو انقسام النواة إلى شظيتين تتحلل إلى نواتج انشطار. تفاعل نيوتروني متسلسل يتطلب كتلة حرجة.

**وحدة المفاعل**: يحوي القلب مواد انشطارية وقضباناً للتحكم ومهدئاً، ومن السمات الأخرى وحدة التبريد والحاجز الإحيائي.

**التزود بالوقود**: في أثناء التشغيل أو بعد توقف المفاعل.

**مصادر الإشعاع في أثناء التشغيل**: نيوترونات الانشطار وأشعة جاما، وتحلل نواتج الانشطار تطلق أشعة جاما، وأسر النيوترونات يحرر أشعة جاما، وتحلل نواتج التشعيع تطلق أشعة جاما.

**مصادر الإشعاع عند الإقفال**: الانشطار ونواتج التشعيع تتحلل بقذف أشعة جاما.

**التلوث**: يمكن أن يحدث بسبب تسرب المبرد أو في أثناء عمليات الصيانة.

**احتواء** نواتج الانشطار مهم جدًّا لمنع التعرضات الزائدة.

**أحواض خزن الوقود**: يصاحبها خطران خاصان هما فقدان الحاجز والحراجة.

**محطة معاملة الوقود**: الفصل الكيميائي للوقود إلى مجاميع اليورانيوم والبلوتونيوم والمخلفات. مشكلات إشعاعية شديدة.

**الإزالة**: تفكيك المحطة والمعدات والتراكيب في نهاية العمر المفيد للمنشأة: أهمية التخطيط المسبق: المرحلة الأولى التنظيف الأولي، وفي المفاعلات إزالة الوقود: وقت المراحل الآتية يعتمد على نوع المحطة.

**العلاج:** تنظيف وتحرير استخدام الموقع الذي كان فيه منشأة إشعاعية لاستخدام آخر، يحتاج إلى مسح إشعاعي مفصل جدًّا ومعرفة بمستويات التلوث، وقد يتطلب إزالة تربة ملوثة ومخلفات إلى منطقة رمي مناسبة، معيار التحرير مبني على الخطر.

## أسئلة للمراجعة

(1) صف عملية الانشطار النووي، واشرح الظروف التي يمكن أن يحصل فيها تفاعل انشطاري متسلسل.

(2) ارسم شكلاً مبسطاً لمفاعل نووي مثالي، موضحاً السمات الرئيسة للوحدة.

(3) وضح مصادر الإشعاع في وحدة المفاعل النووي باستخدام شكل مبسط، وبيِّن أيًّا منهما أكثر أهمية:

( أ ) عندما يشتغل المفاعل.

(ب) عندما يكون موقفاً.

(4) ما المقصود بمصطلح (الاحتواء) عند الكلام عن المفاعلات النووية؟

(5) ناقش الأخطار الرئيسة لأحواض خزن الوقود، كيف يمكن التحكم فيها؟

(6) ما المقصود بمحطة معاملة الوقود؟ وما الأخطار الإشعاعية الرئيسة التي ترافقها؟

(7) ناقش العوامل التي قد تؤثر على توقيت برامج إزالة المفاعلات النووية ومحطات الإشعاع الأخرى؟

# الفصل الحادي عشر

# النفايات الإشعاعية

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الحادي عشر
# النفايات الإشعاعية

## 11ـ 1 مقدمة:

قبل اكتشاف الانشطار النووي واستعماله مصدرًا للطاقة، لم يكن طرح النفايات الإشعاعية يسبب أي مشكلة تذكر، فلقد قدر أن مجموع المواد المشعة المستعملة في البحث والطب عام 1938م كانت أقل من 30 تيرابيكريل، وهذا ما يماثل استخراج ما يقارب كيلو غرام واحد من الراديوم من المصادر الطبيعية، في حين مفاعل كبير واحد لتوليد الطاقة ـ اليوم ـ يحتوي على ما يزيد على 810 تيرابيكريل من المواد الانشطارية، فكيف بوجود مئات عدة من مفاعلات الطاقة في العالم! ومع زيادة التأكيد على حماية البيئة، فقد صارت السيطرة على هذه النفايات تشكل عاملاً حيويًّا في اقتصاديات الطاقة النووية وفي تقبل الناس لها.

وتتزايد النفايات الإشعاعية ـ ولو على نطاق صغير جدًّا ـ في كل من المستشفيات والمصانع ومنشآت البحوث ومعاهد التدريس نتيجة التطبيقات ذوات المدى الواسع للإشعاع، ويصبح استعمال محطة المعالجة المعقدة للنفايات كالمستخدمة في محطات الطاقة النووية ـ في مثل هذه الحالات ـ مستحيلاً لغلائه، تستخدم طرق تخلص أبسط قد تشمل التخلص منها خلال تجميع النفايات المعتاد أو خلال أنظمة المجاري. ومن الواضح أنه لا بد من إدراك عواقب كل هذه التصرفات، ومن ثم لا بد من ممارسة سيطرة صارمة.

والمواد المشعة لا يمكن تحطيمها، ولكنها تضمحل في النهاية، ولكنه ليس من العملي انتظار اضمحلال بعض النويدات المشعة ذوات أعمار النصف الطويلة جدًّا.

هناك ثلاثة اتجاهات عامة للسيطرة على النفايات الإشعاعية:

(1) الإطلاق والتبديد نحو البيئة.

(2) الخزن.

(3) الطرح.

وبالطبع، ربما يفهم ـ إلى حد ما ـ أن إطلاق المواد المشعة نحو البيئة يتضمن الطرح، غير أنه من المفيد التمييز بين التبديد المدروس، وطرق الطرح التي يتم فيها دفن النفايات؛ كي يتم عزلها ـ ولو مؤقتاً ـ عن البيئة ولا يتوقع استرجاعها[1].

وحزن الفضلات المشعة يُعدّ بصورة خاصة إجراءً مفيداً عند التعامل مع النظائر المشعة ذوات عمر النصف القصير نسبيًّا (أي بحدود أشهر عدة).

إن الخزن أو الاحتفاظ بالفضلات سنوات عدة يمكن أن يخفض الإشعاعية إلى مستوى يسمح بإطلاقها في البيئة أو في أماكن إلقاء القمامة إذا ما كانت هذه الفضلات صلبة.

والاتجاه المرغوب في حالة ما، يعتمد على عوامل عدة: مثل كمية المادة المشعة ونوعها، وكل من هيئتها الكيميائية والفيزيائية، وكذلك على الموقع الجغرافي. وسيناقش هذا الفصل تطبيق هذه الاتجاهات البديلة للسيطرة على كل من النفايات الصلبة والسائلة والغازية.

## 11ـ2 عواقب إطلاق المواد المشعة :

يشكل أي إطلاق لمادة مشعة مصدراً كامناً للتعرض الإشعاعي للسكان بشكل واسع. ويمكن للتعرض الإشعاعي أن يوجد من خلال عدة سبل تعرض مختلفة، فعند افتراض تسرب المواد المشعة من ركام مدخنة – مثلاً– فإنها تتبدد بواسطة حركة الهواء، وهذا قد يؤدي إلى تعرض السكان للإشعاع بطرق عدة منها:

(1) إشعاع بيتا أو جاما الخارجي المباشر من سحابة الغبار.

(2) استنشاق المادة المشعة فينتج عن ذلك جرعة داخلية.

(3) إشعاع بيتا أو جاما الخارجي المباشر من غبار (سقط) المادة المشعة.

(1) النص الإنجليزي غير واضح؛ لذا صيغت الفقرة بشكل مفهوم بناءً على معرفتنا بالطريقة.

(4) استهلاك المواد الغذائية (كالخضراوات) الملوثة من الترسب.

(5) استهلاك اللحم أو الحليب من حيوانات ترعى في المراعي الملوثة.

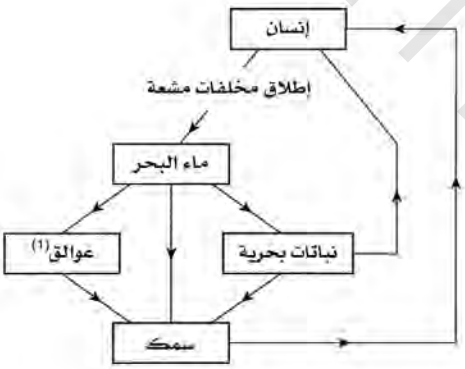
ومثل ما تقدم، يمكن أن ينتج عن طرح المواد المشعة في نهر أو بحيرة أو بحر، عدة سبل تعرض إشعاعي:

(1) تلوث مصادر مياه الشرب.

(2) جرعة خارجية للسباحين أو الناس الذين يستعملون الشواطئ الرملية (البلاجات) الملوثة.

(3) استهلاك كل من الأسماك والمحّار والنباتات الملوثة.

تنتج بعض سبل التعرض عن دورات معقدة تعرف بدورات أو سلاسل الغذاء، وعلى سبيل المثال، فالمادة الإشعاعية المرمية في البحر قد تؤخذ من قبل العوالق التي تتغذى عليها الأسماك، والتي بدورها تؤكل من قبل الإنسان، ويوضح الشكل (11- 1) -على سبيل المثال- دورة بسيطة للغذاء البحري.




شكل (11-1) دورة بسيطة للغذاء البحري

(1) العوالق: كائنات حيوانية أو نباتية صغيرة معلّقة أو طافية في المياه.

لقد تبين أنه غالباً ما يكون هناك مسار محدد بعينه أكثر أهمية من غيره في حالة ما، إذ إنه يسبب جرعة أكبر، ويقع ـ أحياناً ـ على مجموعة صغيرة من الناس، فيسمى المسار حينئذ سبيل التعرض الحرج، ويطلق على مجموعة الناس الذين يتعرضون لأكبر جرعة منه المجموعة الحرجة.

تكمن أهمية تحديد سبيل التعرض الحرج في كونها تسمح بالسيطرة عليه من حيث كمية المادة المشعة المطروحة، وتحديد الجرعة على المجموعة الحرجة. وتعتمد المجموعة الحرجة في حالةٍ ما، على كل من: طريقة الطرح، والنويدات الموجودة، والبيئة المحلية (كأشكال الحياة البحرية... إلخ)، وكذلك على العادات المحلية.

تقدم محطة معاملة الوقود في سيلافيلد في المملكة المتحدة مثالاً تقليديًّا لتطبيق هذه الفكرة. ففي هذه المحطة يعامل الوقود المشع من المفاعلات كيميائيًّا لاسترجاع اليورانيوم والبلوتونيوم، أما بقية العناصر ـ وبضمنها المواد الانشطارية والعناصر العالية العدد الذري (Actinides) ذوات النشاط الإشعاعي الحاد ـ فإنها تحوّل جميعًا إلى مواطن الخزن الخاص (انظر مبحث (11-3) المقبل)، ولكن نسبة صغيرة من المواد المشعة تظهر ـ على أي حال ـ في مجاري النفايات الثانوية، التي تسمح ببعض الاضمحلال بعد مدة من الخزن، ومن ثم تفرغ في البحر الأيرلندي عبر كيلومترين من الأنابيب.

قبل إطلاق أي مادة مشعة من المحطة في البحر، أجريت دراسة مستفيضة لتقدير كمية المادة المشعة التي يمكن تفريغها بأمان، وتضمنت هذه الدراسة فحص تيارات المد والجزر المحلية والتبديد الحاصل، وكذلك البيئة المحلية. لقد أظهرت الدراسة التي تمت قبل البدء بعملية التفريغ، أن هناك ثلاثة سبل رئيسة للتعرض، وهي: ترسب المواد المشعة في الرمل أو الطمي، وفيما يمتص أو يمثل من قبل الأسماك، وكذلك من قبل أنواع من الطحالب البحرية الصالحة للأكل.

وقد سبق في الذهن أن السبيل الأخير أكثرها أهمية، وتم التأكد من ذلك بعدما تمّ تشغيل المحطة بكامل طاقتها، حيث ارتفع هذا السبيل بسبب أن أحد العناصر الانشطارية المسمى الرثينيوم - 106 قد امتص بكفاءة عالية، أعيد تركيزه بشدة بواسطة الطحلب البحري بروفيرا امبيليكالس (Prophyra umbilicalis) الذي كان يجنى آنذاك من ساحل قرب سيلافيلد من أجل صناعة أكلة تدعى ليفربريد (Laver bread)، التي تستهلك في جنوب مقاطعة ويلز ما جعل جرعة الرثينيوم - 106 ($^{106}Ru$) على القناة الهضمية لمستهلكي الليفربريد هي العامل المتحكم في كمية المادة المشعة التي تفرغ في البحر. لقد انقطع في النهاية جني هذا الطحلب، وتمّ التركيز على السبل الأخرى للتعرض، وشملت البلوتونيوم في البرونق[1] والسيزيوم في السمك.

إن الطرح الملحوظ للمواد المشعة على الرمال والطمي والسواحل ومصبات الأنهار، يقود من ثم إلى جرعة إشعاع خارجية على الذين يستعملون السواحل الرملية، وعلى صيادي الأسماك عندما يمسكون ـ مثلاً ـ الشِّباك والمعدات.

إن إعادة تعلق الإشعاعية في الجو عندما تجف السواحل حدد على أنه أحد طرق التعرض الممكنة، وينتقل من البحر عن طريق رذاذ البحر إلى الجو ومنه إلى اليابسة، وهذا قد يكون ذا أهمية خاصة في حالة الكميات الصغيرة نسبيًّا للبلوتونيوم وأكتينات أخرى.

فالمادة المشعة التي تبتلعها الأسماك ـ في البداية ـ هي السيزيوم - 137 ($^{137}Cs$) الذي يذوب في ماء البحر، وبسبب أن عمر نصفه ثلاثون سنة، فإنه ينتشر في مساحة واسعة جدًّا، ويؤدي إلى تركيز ملموس ـ على الرغم من ضآلته ـ ليس في البحر الأيرلندي فحسب، بل في بحر الشمال أيضاً وحتى بحر النرويج. ومن ثم يؤدي إلى تركيز منخفض، ولكنه محسوس في الأسماك المصيدة في منطقة واسعة جدًّا.

(1) البرونق: ضرب من الحلازين البحرية.

ومن النقاط المهمة التي برزت من خبرة سيلافيلد، هي أنه عند إطلاق نظائر مشعة ذوات عمر نصف طويل مثل البلوتونيوم في البيئة يمكن أن تؤدي إلى تأثير إشعاعي مستمر.

وقد خفضت حديثاً مستويات التفريغ بشكل كبير، وأصبح الأثر الإشعاعي منخفضًا في جميع سبل التعرض الإشعاعي.

هناك سبيل مهم للتعرض في حالة الإطلاق في الجو، وهو أخذ اليود المشع وبخاصة اليود - 131 ($I^{131}$) في الغدة الدرقية، نتيجة لإطلاق نواتج الانشطار للجو، وربما يكون هذا التمثل بسبب استنشاق اليود المنتشر جوًّا، أو من استهلاك حليب البقر التي ترعى الأعشاب الملوثة. وفي كلتا الحالتين يشكل الأطفال المتعرضون مجموعة حرجة، وذلك بسبب كمية الحليب الكبيرة التي يشربونها مقارنة بحجم غددهم الدرقية.

في جميع الحالات سالفة الذكر، توضع حدود التفريغ لتكون أقل ما يمكن الوصول إليه، بحيث تتعرض المجموعة الحرجة إلى جرعة دون المستوى الأقصى المسموح به.

## 3.11 المخلفات المشعة السائلة:

لقد استخدمت طرق عدة في إدارة المخلفات المشعة السائلة، فإذا كان مستوى الإشعاعية منخفضاً جدًّا، فإن المخلفات السائلة يمكن التخلص منها، إما بوصفها مخلفات تجارية في المجاري أو إلقائها مباشرة في النهر أو البحيرة أو في المياه الساحلية. وكما أسلفنا فإن الخزن قد يكون مفيداً للسماح للنظائر المشعة ذات العمر القصير بالاضمحلال، وفي هذه الحالة توفر خزانات عدة للتأخير، وعندما يمتلئ أحدها يفصل ويترك حتى تنخفض الإشعاعية فيه إلى مستوى مقبول لتفريغه، وقبل التفريغ يجري خلط محتويات الخزان، وتؤخذ عينة منه يتم تحليلها للتأكد من أن إشعاعيته بالحدود المقبولة.

أما المخلفات السائلة ذات الإشعاعية النوعية المرتفعة؛ فيمكن معالجتها بتبادل الأيونات أو التبخير أو المعالجة الكيميائية يتبعها الترشيح، إن هذه العمليات تؤدي إلى

تركيز المادة المشعة من المخلفات المشعة إلى أحجام أصغر بكثير من الفضالة أو الوحل التي قد تكون مناسبة لتحويلها إلى مخلفات صلبة للخزن أو الرمي، أما الدفق السائل من هذه العمليات فيكون عادة ذا إشعاعية منخفضة بدرجة تسمح برميه.

والتفريغ عبر المجاري طريقة ملائمة جدًّا للمستشفيات، ومعاهد البحوث، ومنشآت أخرى، عندما يكون الحجم والإشعاعية النوعية منخفضين، ولكن القيود عليها شديدة، والأمور الأساسية التي يجب أخذها في الحسبان هي تلوث المياه وجدران المجاري، وأعمال المجاري تصبح ملوثة وينتج عنها خطر على العاملين فيها. إضافة إلى ذلك، فإن رواسب المجاري الطينيّة غالباً ما تستعمل بوصفها مخصبات، فإذا ما صارت ملوثة، فإنها قد تؤدي إلى تلوث المحاصيل.

ويتحدد تفريغ المادة المشعة في الأنهار بنتائج استخدام ماء النهر، إذ إن معظم الأنهار الأوروبية الرئيسة تشكل مصادر لمياه الشرب وسقي المحاصيل والمواشي. وتعني هذه الافتراضات أن التفريغ في الأنهار محدد بكميات تقارب بضعة تيرابيكريات في السنة، وتعتمد الكمية الحقيقية على الظروف المحلية. وكذلك الأمر بالنسبة إلى البحيرات، فإن التبديد المقيّد يحدد ـ عادة ـ معدلات التفريغ لمعظم النويدات إلى مستويات منخفضة نسبيًّا. ومرة أخرى، فإن الحدود المثالية بضعة تيرابيكريات في السنة أيضاً.

يمكن مبدئيًّا تفريغ كميات كبيرة نسبيًّا من المواد المشعة في البحر، مع اتخاذ الخطوات الكافية للتأكد من التخفيف والتبديد اللازمين. وحدود التفريغ تمليها عادة دورات الغذاء المتضمنة تأثيرات إعادة التركيز على الكائنات البحرية كما شرح في مبحث (11- 2)، إن تفريغ مئات التيرابيكريل[1] في معظم مواقع السواحل ممكن دون أن يقود إلى جرعة زائدة إلى المجموعة الحرجة، ولكن إطلاق المواد المشعة في البيئة أمر مثير

(1) التيرابيكريل: يساوي $10^{12}$ بيكريل.

للنزاع، غير أنه ينبغي التثبت أن الإطلاق والجرعة التي يولدها للمجموعة الحرجة أقل ما يمكن الحصول عليه بشكل معقول.

إن معاهدة حماية البيئة البحرية لبحر الشمال الأطلنطي (المعروفة بمعاهدة **OSPAR**) التي وقعها الاتحاد الأوروبي (**EU**) وُضعت لمنع تلوث المنطقة البحرية من الإشعاع الذري من خلال التقليلات التدريجية والملحوظة للتفريغ ولإطلاق وفقدان المواد المشعة، مع وضع هدف نهائي لتراكيزه في البيئة قريبة من قيم المواد المشعة الموجودة طبيعيًّا وجرعة صفر للمواد المشعة المصنعة، وهذا يزيل كل التفريغ إلى البحر بوصفه خيارًا ملحوظًا في إدارة المخلفات.

ومهما كان صنف التفريغ فإن هذه السماحات ينبغي أن تبقى تحت المراجعة الدائمة، ولا بد من التثبت من خطوات العمل بواسطة مناهج مراقبة واسعة تشمل قياسات لماء البحر والأسماك والطحالب، وكذلك لقاع البحر.

## 11-4 المخلفات الغازية المشعة:

يشكل إطلاق المواد المشعة نحو الجو سبلاً تعرض مباشرة أكثر منها في أشكال الطرح الأخرى، ومع بعض الاستثناءات القليلة -كالغازات الخاملة- فإن حدود الطرح منخفضة جدًّا. تشمل سبل التعرض كلاً من **التشعيع الخارجي والدثور والهضم** بواسطة الطرق المختلفة (انظر مبحث 11- 2).

إن التفكير السائد هو تقليل المواد المشعة التي تطلق نحو الجو إلى الحد الممكن عمليًّا، ثم إطلاقها بطريقةٍ ما للحصول على طرح مناسب. والطرق المتوافرة عمليًّا لإنجاز هذه الأعمال هي:

(1) الترشيح من أجل إزالة الدقائق المشعة.

(2) أنظمة غسيل أو امتزاز[1] (ادمصاص) لتقليل إشعاعية الغازات.

(3) التبديد خلال المداخن.

يشكل الترشيح طريقة شائعة جدًّا، فهو يستخدم ـ عادة ـ في أي منطقة تحتوي على المواد المشعة.

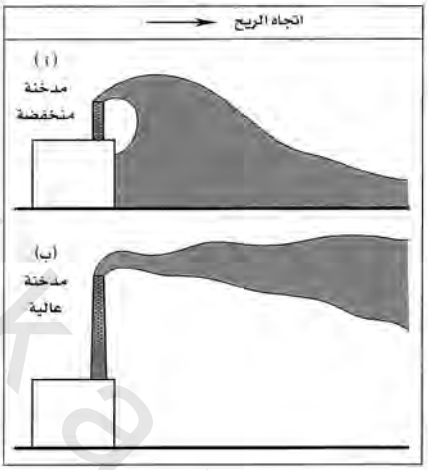
تعتمد كفاءة المرشح على حجم الجسيمات، ولكنها غالباً ما تتراوح بين 95٪ وحتى 99.9٪، ولا بد من التذكير أن المرشحات بذاتها ستصبح مشعة. ولهذا، فعندما يراد تغييرها يجب إمساكها بعناية وتعامل بنفسها بوصفها مخلفات إشعاعية صلبة. أما وحدات الغسيل ومعدات الامتزاز فهي ضخمة وغالية؛ لذا فهي لا تستعمل إلا في المؤسسات الكبيرة كمجمعات المفاعلات النووية.

عندما يتعلق الأمر بكميات صغيرة نسبيًّا من المواد المشعة، فإن إطلاقها نحو الجو يكون عادة بالتفريغ المستخلص ـ عند أو حتى أقل ـ من مستوى السقف. ولا بد من العناية الكافية عند اتخاذ مواقع هذه المستخلصات، إذ إن دوامات وتيارات الهواء تحت ـ ظروف جوية معيّنة ـ تجعل المادة المشعة التي أطلقت تعود إلى البناية نفسها خلال منافذ الهواء، بل حتى عبر الشبابيك المفتوحة.

يفضل استعمال المداخن، ولكن تكلفتها الإضافية لا تبرر استعمالها إلا عند إطلاق كميات كبيرة من المواد المشعة، ولا بد أن يكون ارتفاع هذه المداخن ـ بشكلها المثالي ـ يتراوح ما بين الضعف إلى ثلاثة أضعاف ارتفاع الأبنية المحيطة من أجل الحصول على تبديد جيد. وهذا ما يوضحه الشكل (11-2) الذي يبيّن التبديد الحاصل من المداخن القصيرة (صورة أ)، وكذلك المداخن العالية (صورة ب) الموجودة فوق بنايات عالية. وحتى في المداخن العالية، فإن انتشار السحابة الإشعاعية وانبساطها، يعني أنه عند مسافة معيّنة في اتجاه الريح يزداد التركيز الإشعاعي عند سطح الأرض، وعادة ما يحصل التركيز

(1) الامتزاز **Adsorption** عملية كيميائية تعني تكثف جزيئات الغاز والتصاقها بالجسم الصلب.

الأكبر عند مسافة ـ في اتجاه الريح ـ تتراوح ما بين العشرة إلى العشرين ضعفاً بقدر ارتفاع المدخنة، إذ إنه يعتمد على كل من الريح والطقس.




شكل (11-2) التبديد بواسطة المداخن

## 11ـ5 المخلفات الصلبة المشعة:

تنشأ المخلفات الصلبة المشعة بأشكال مختلفة في المنشآت النووية، ومن التطبيقات الطبية والصناعية المستخدمة للمصادر المشعة، وتصنف هذه المخلفات عادة إلى ثلاثة أصناف واسعة على أساس من درجة إشعاعها هي: المخلفات المنخفضة، والمتوسطة، والمرتفعة الإشعاعية.

وتتكون المخلفات المنخفضة الإشعاعية عادة من المحتويات العامة لحاويات قمامة المناطق الملوثة، والمواد قليلة التلوث، والنباتات والمعدات النشطة إشعاعيًّا. أما المخلفات المتوسطة الإشعاعية فمصدرها الرئيس هو التجهيزات النووية، وتشمل مخلفات العمليات والمعدات ذات النشاط الإشعاعي الملحوظ. وعلى الرغم من أن المخلفات المنخفضة والمتوسطة الإشعاعية تعرف بدلالة نشاطها الإشعاعي النووي بتعريفات تختلف من بلد إلى آخر، إلا أن المعتاد أن تحتوي المخلفات المنخفضة الإشعاعية على أقل من

$10^9$ بيكريل/ $م^3$. أما المخلفات المتوسطة الإشعاعية فتعرف بأنها أي مخلفات دون المخلفات المرتفعة الإشعاعية وفوق المخلفات المنخفضة الإشعاعية. وغالباً ما تسهل عملية طرح المخلفات المنخفضة والمتوسطة الإشعاعية بفصلها في موضع تكونها، فمثلاً يكون الفصل إما من حيث إشعاعاتها النوعية أو قابليتها للإحراق، وعادةً ما يكون تقليل حجم المخلفات من الإجراءات المفيدة، ويتم ذلك إما بكبسها أو بحرق المخلفات القابلة للاحتراق منها في محارق خاصة، وفي هذه الحالة عادة ما يتم ترشيح غازات المحارق وكبس الرماد لتقليل حجم المخلفات.

ويخصص مصطلح "المخلفات المرتفعة الإشعاعية" عادة لتلك المخلفات الناتجة عن عملية الفصل الأولى في محطة معالجة الوقود، وتلك المخلفات التي تحتوي عادة على 99٪ أو أكثر من النواتج المشعة لعملية الانشطار النووي، وعلى أغلب باعثات جسيمات ألفا والعناصر العالية العدد الذري (Actinides). والإشعاعية النوعية لهذه المخلفات مرتفع جدًّا بحيث تولد حرارة ملحوظة تتطلب التبريد. وهذه المخلفات تحفظ في بادئ الأمر كسوائل في حاويات شديدة التماسك تحوي أنظمة تبريد متعددة، وهي موضوعة داخل خلايا من الدروع الخرسانية الثقيلة، وبعد الحفظ سنوات عدة (للسماح لبعض النظائر المشعة ذوات عمر النصف المنخفض بالتحلل) تدخل المخلفات المتبقية في قوالب كبيرة من الزجاج وتوضع في حاويات من الفولاذ، وبذلك تصبح آمنة مدة أطول. ويمكن اعتبار عملية خزن المخلفات الصلبة المشعة حلاً مؤقتاً لهذه المشكلة، وذلك لأن كثيرًا من أنواع هذه المخلفات تحوي إشعاعية طويلة العمر نسبيًّا، فالنشاط الإشعاعي للمخلفات المرتفعة الإشعاعية يشمل ناتج الانشطار للسترونشيوم-90 والسيزيوم-137 ذوي عمري النصف 28 سنة و30 سنة على التوالي، وبعد 500 عام تنخفض إشعاعياتها إلى مستويات يمكن إهمالها، ولكن جزءًا كبيراً من النظائر المشعة طويلة العمر يبقى، وهي تشمل الأمريسيوم-241 (عمر نصفه 434 سنة) والبلوتونيوم-239 (عمر نصفه 24000 سنة) والبنتونيوم-237 (عمر نصفه 2.2 مليون سنة).

وإيجاد طرق آمنة للتخلص من المخلفات المشعة يمكن اعتباره عاملاً مهمًّا لقبول المجتمع للطاقة النووية، ففي بعض الدول تم ربط تطوير الطاقة النووية بإمكانية إيجاد طرق آمنة للتخلص من مخلفاتها المشعة.

للتخلص من المخلفات المشعة طرق عدة مستخدمة فعلاً أو لا تزال قيد الدراسة، وتشمل هذه الطرق الدفن في الأرض أو الإغراق في البحر. أما الطريقة المستخدمة من قبل المستشفيات والمعامل والجامعات وما أشبه ذلك من مستخدمي الكميات الصغيرة من المواد المشعة، فإن ذلك يتم بطرحها مع المخلفات التقليدية الاعتيادية بعد تخفيفها، وذلك لأن رزمة المخلفات المنفردة تحتوي على كمية صغيرة جدًّا من المواد المشعة، وقد خففت جيداً بدمجها مع كميات هائلة من المخلفات الاعتيادية، كالمخلفات المنزلية في مواطن إلقاء القمامة المحلية. وتستدعي هذه الطريقة الحصول على موافقة خاصة من الحكومة، وتوضع حدود صارمة لكمية المواد المشعة في الرزمة الواحدة، ولكمية المواد الكلية التي تطرح وفق هذه الطريقة. علماً بأن تلك الحدود تختلف تبعاً للمتطلبات والظروف المحلية، ولكنها بشكلها المثالي تبلغ نحو 0.1 ميجا بيكريل لكل رزمة. أما بالنسبة إلى الأحجام الأكبر والتراكيز الأعلى من الإشعاعية الناتجة عن المخلفات المتولدة من الصناعة النووية فهناك نوعان من التجهيزات الخاصة بمخلفاتها، منها ما يستخدم حالياً ومنها لا يزال في مرحلة التخطيط، والطريقة الأولى تدعى "التجهيزات الأرضية الضحلة" أو الدفن في أعماق ضحلة من الأرض، وهي عبارة عن وضع تلك المخلفات في هياكل خرسانية تدفن على أعماق تتراوح بين 10 و30 م تحت سطح الأرض، خاصة في أرضيات طينية عادةً. وهذه التجهيزات مناسبة بصورة خاصة للمخلفات المنخفضة الإشعاعية، وقد تكون مناسبة أيضاً للمخلفات المتوسطة الإشعاعية ذات الإشعاعية القصيرة العمر.

أما النوع الثاني من التجهيزات فهو الدفن العميق للمخلفات الإشعاعية الصلبة، وتتراوح أعماق ذلك بين 300 م وأكثر من ذلك تحت سطح الأرض، والعمل في هذه

التجهيزات في مرحلته الأولى يشبه عمل المناجم من حيث حفر الممرات الرأسية والأنفاق العميقة، توضع المخلفات المحتواة في طرود شديدة الإحكام في قنوات، ثم تملأ هذه القنوات بمواد ماصة ويتم غلقها تماماً. وهذا النوع من المدافن يصلح للمخلفات المتوسطة والمرتفعة الإشعاعية.

ومن الاعتبارات المهمة في عملية الدفن للمخلفات الإشعاعية الصلبة في باطن الأرض، هو حقيقة أن حاويات المخلفات سوف تبلى في نهاية الأمر، ما يؤدي إلى تسرب المواد المشعة إلى المياه الجوفية، ولكن هذا قد يستغرق مئات أو آلاف السنين، وهذا يؤدي إلى تلوثها، ومن ثم إلى تلوث مياه الشرب، وإلى تلوث المحاصيل الزراعية، ولذلك فإنه من المهم حسن اختيار مواقع الدفن للتقليل من هذه التأثيرات. ومن الأمور التي ينبغي أخذها في الحسبان وخاصة في حالات الدفن الضحل هو احتمال وقوع تعدٍّ غير متعمد في مستقبل الأيام، ومن أمثلة ذلك عمل الثقوب أو شق القنوات أو الحفر، وفي حين يمكن التحكم في تطوير المنطقة قرونًا عدة، ولكن لا يمكن بعد ذلك ضمان عدم وقوع تعدٍّ، لهذا السبب ينبغي التحديد الشديد على دفن المخلفات المشعة ذوات الأعمار الطويلة في المدافن الضحلة.

ويؤدي إغراق المخلفات الصلبة في أعماق البحار إلى تأخير مدة وصول المواد المشعة إلى بيئة الإنسان إلى مدة طويلة، وكذلك التخفيف الهائل لتركيز تلك المواد المشعة، ولكن نظراً للمعارضة لهذا الإجراء فقد تم وقف إغراق المخلفات المشعة في البحر منذ عام 1982م ويبدو من غير المتوقع فتح هذا الباب مجدداً.

## 11-6 الأنظمة:

إن التشريعات والأنظمة التي تشمل إدارة وطرق إدارة المخلفات المشعة تختلف من بلد لآخر، في الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي يتم تطبيق توجيهات المعايير الأساسية

للسلامة في تشريعاتها الوطنية، فمثلاً في المملكة المتحدة الأمور المتعلقة بالتوجيهات المتعلقة بالمخلفات المشعة مطبقة بموجب مرسوم المواد الإشعاعية (1993م).

يجب على معظم مستعملي المصادر المشعة الصغار تسجيل استخدام وخزن الإشعاعية في وكالة البيئة، ويمنح هؤلاء الحق بطرح المواد الإشعاعية، وذلك من قبل القسم المذكور بعد استشارة آخرين، ومن ضمنهم الهيئات المحلية.

يعفى العاملون في التجهيزات النووية، كمحطات الطاقة النووية ومحطات تصنيع الوقود ومعاملة الوقود المستهلك، من متطلبات تسجيل استعمالاتهم ومن خزن المواد المشعة، وبدلاً عن ذلك، فإنهم يخضعون لشروط فقرات مرسوم التجهيزات النووية لعام 1965م وتنقيحاته. وقد نُصَّ في آخر مرسوم على أن المرجع يعود إلى مرسوم المواد المشعة، أمَّا مسؤولية السماح بالتفريغ فهو من اختصاص قسم البيئة[1] (وفي ويلز، المكتب الويلزي)، وفي أسكتلندة تكون مسؤولية السماح بالتفريغ من اختصاص الوكالة الأسكتلندية لحماية البيئة.

(1) أي في كل من مقاطعتي إنكلترا وأيرلندا الشمالية من المملكة المتحدة.



openkandl.com

## خلاصة الفصل:

**المصادر الرئيسة للمخلفات الإشعاعية**: المفاعلات واستعمال النظائر المشعة في الطب والصناعة والبحث.

**المبادئ المطبقة**: الإطلاق والتبديد، والخزن، والطرح.

**عواقب الطرح**: تعرض السكان عن طريق سبل التعرض أو عن طريق سلسلة الغذاء. التأكيد على التثبت من أن الجرعة المتعرض لها من عمليات طرح المخلفات أقل ما يمكن الحصول عليه بشكل معقول.

**تحديد السبيل**: سبيل التعرض الحرج، والمجموعة السكانية المتعرضة لأعلى جرعة هي "مجموعة حرجة".

**المخلفات السائلة**: المخلفات السائلة المنخفضة الإشعاعية تفرغ في البيئة، والمخلفات ذوات الإشعاعية النوعية المرتفعة تعالج بالتبادل الأيوني أو بالتبخير أو بالمعالجة الكيميائية.

**المخلفات الغازية**: تطلق في الجو بعد ترشيحها، وتفرغ عن طريق المداخن للحصول على انتشار جيد.

**المخلفات الصلبة**: المخلفات **المنخفضة والمتوسطة والمرتفعة الإشعاعية**، الخزن حل مؤقت للمخلفات طويلة العمر، الفصل وتقليل الحجم تمهد للطرح، والسبل الممكنة هي الدفن السطحي أو العميق تحت الأرض.

**الأنظمة**: لا بد من الإذن بالسماح لخزن أو طرح المخلفات الإشعاعية.

## أسئلة للمراجعة:

(1) اذكر ثلاثة اتجاهات عامة للتعامل مع المخلفات الإشعاعية، اذكر مثالاً عمليًّا في كل حالة.

(2) ناقش فكرة (**سبيل التعرض الحرج**)، ثم اذكر مثالاً لسبيل يتضمن **دورة غذائية**.

(3) ما طرق التفريغ البديلة للمخلفات السائلة منخفضة المستوى الإشعاعي؟ ناقش العوامل التي تحدد الكميات التي يمكن أن تفرغ في كل حالة؟

(4) ما سبل التعرض المحتملة الناتجة عن إطلاق المواد المشعة نحو الجو؟ وكيف يمكن تحديد التعرض من هذه السبل؟

(5) ناقش السبل الممكنة لطرح المخلفات المشعة؟ وما السبل لكل نوع من المخلفات بصورة عامة؟

obeikandl.com

# الفصل الثاني عشر

# الأشعة السينية
# والتصوير الإشعاعي

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الثاني عشر

# الأشعة السينية والتصوير الإشعاعي

## 11ـ 1 مقدمة:

عام 1895م اكتشف الفيزيائي الألماني "وهيلم كونارد رونتجن" الأشعة السينية، وكان رونتجن فيزيائيًّا مهتمًّا بإجراء التجارب على الأنابيب المفرغة من الهواء، وقد لاحظ في أثناء تجاربه على هذه الأنابيب أنه عندما يقرب منها شاشة مغطاة بطبقة من سيانيد الباريوم البلاتيني فإنها تتوهج، وبعد بحوث إضافية استنتج أن سبب حدوث الفلورة هو أشعة غير مرئية لا يقتصر اختراقها على الزجاج فحسب، بل حتى المواد المعتمة للضوء. ولقد وجد أنه يستطع -بهذه الأشعة- تصوير ما بداخل الأجسام مثل التركيب العظمي لليد[1]؛ لأن العظم يوقف الأشعة السينية أكثر مما يفعله اللحم الطري. وتعرف الصور المأخوذة بإمرار الأشعة السينية خلال الأجسام -بهذه الطريقة- **بالصور الإشعاعية**.

وتم تقييم الأهمية الكبيرة للأشعة في الطب مباشرة، حتى أضحى كثير من الأطباء ـ في أنحاء عدة من العالم ـ وفي خلال أشهر من هذا الاكتشاف، يستخدمون الأشعة السينية معيناً في التشخيص، وأصبحوا يعرفون **بالإشعاعيين (أو أطباء الأشعة)**، وقد هلك كثير منهم فيما بعد بسبب التعرض الزائد للإشعاع، كما ذكر في الفصل الخامس. وتستخدم الأشعة السينية حالياً بصورة واسعة في الطب ليس لأجل التشخيص فقط، بل في علاج الأمراض كذلك، ولها استخدامات في الصناعة وفي البحث العلمي.

وتنتمي الأشعة السينية إلى مجموعة الأشعة الضوئية نفسها وموجات المذياع وأشعة جاما، فهي أشعة كهرومغناطيسية، ليست لها كتلة ولا شحنة، ولكن لها طول موجي يعتمد

---

(1) لقد تمكن رونتجن من أخذ أول صورة بالأشعة السينية ليد زوجته أظهرت تركيب العظام فيها، وذلك جزء من بحثه الدقيق لخواص هذه الأشعة التي اكتشفها.

على طاقتها، وتختلف الأشعة السينية عن أشعة جاما من ناحيتين مهمتين: الأولى أن أشعة جاما تنشأ من داخل نواة الذرة، في حين تنشأ الأشعة السينية من تغير في مدار الإلكترون، والثانية أن أشعة جاما من مصدر معين لها طاقات محدودة، في حين أن للأشعة السينية ـ في العادة ـ مدى واسعاً أو طيفاً من الطاقات يصل إلى قيمة قصوى مميزة.

وأهم طريقة لتوليد الأشعة السينية مبنية على عملية تعرف باسم (Bremsstrahlung) وهو الاسم الألماني **لأشعة الكبح أو التوقف**، وتنتج هذه الأشعة عندما تبطئ الجسيمات المشحونة –الإلكترونات عادة– المنطلقة بسرعات عالية جدًّا بصورة فجائية باصطدامها بهدف. فمثلاً عندما ترتطم أشعة بيتا من مصدر مشع بمواد حاجز تتولد أشعة الكبح. وتعتمد كفاءة إنتاج أشعة الكبح بهذه الطريقة كثيراً على الوزن الذري لمادة الهدف، فالمواد ذوات الوزن الذري العالي (Z) تعطي أشعة أكثر بكثير مما تعطيه المواد ذوات الأوزان الذرية المنخفضة، ولهذا السبب تستخدم المواد الأخيرة –مثل البيرسبكس– في حجز مصادر بيتا. ومهما تكن الحالة، فإن كثافة الأشعة المنتجة بواسطة جسيمات بيتا تعدّ منخفضة جدًّا لمعظم التطبيقات. والطرق المستخدمة لإنتاج الأشعة السينية للأغراض الطبية والصناعية أنبوبة تفريغ كهربائي تشبه الطريقة التي استخدمها رونتجن، ولكن الأجهزة الحديثة تمتاز بكونها أكثر أماناً وأعلى كفاءة.

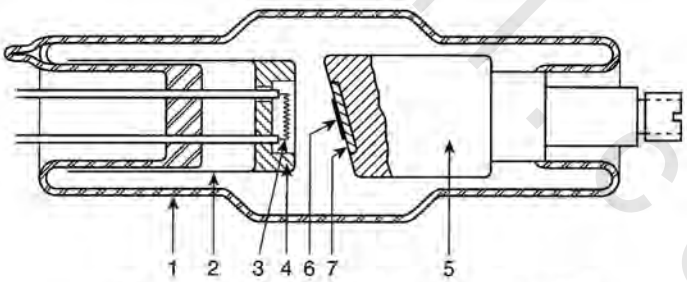
## 12ـ2 أجهزة الأشعة السينية:

### 12-2-1 عموميات:

تتولد الأشعة السينية بإيقاف الإلكترونات المنطلقة بسرعات عالية وبصورة فجائية بواسطة مواد مرتفعة الوزن الذري؛ لذا فإن مُوَلِّد الأشعة السينية يتطلب مصدراً للإلكترونات ووسيلة لتعجيلها إلى سرعات عالية، وهدفاً توجه إليه الإلكترونات؛ لذا تتركب وحدة الأشعة السينية من أنبوبة وعدد من الدوائر الكهربائية التي توضع في وحدة منفصلة للتحكم.

## 12-2-2 أنابيب الأشعة السينية ذوات المهبط الحار:

يصور الشكل (12-1) نوعاً حديثاً لأنبوبة الأشعة السينية، حيث تحوي مهبطاً ومصعداً في داخل أنبوبة زجاجية مفرغة الهواء إلى ضغط منخفض جدًّا، فالمهبط هو مصدر الإلكترونات ويتركب من فتيلة التنجستن التي تسخن حتى التوهج بواسطة تيار كهربائي، ما يؤدي إلى **غليان**[1] الإلكترونات فيها، وتعجل هذه الإلكترونات نحو الهدف بواسطة جهد كهربائي عالٍ يسلط بين المصعد والمهبط. يكون الهدف أحد أجزاء المصعد، ويصنع من مواد مرتفعة الوزن الذري من أجل الحصول على أعلى كفاءة ممكنة لإنتاج الأشعة السينية، غير أنه حتى عند أفضل الكفاءات العملية، فإن نسبة طاقة الإلكترونات التي تظهر على شكل أشعة سينية لا تتجاوز الواحد في المئة، أما بقية الطاقة فتظهر على شكل حرارة، ولهذا يجب أن تكون درجة انصهار الهدف عالية، ويكون بالإمكان التخلص من الحرارة، ويحقق هذا الهدف بعمل المصعد من القصدير ذي التوصيل الحراري العالي مع وضع هدف من التنكستن مواجه للمهبط.




شكل (12-1) أنبوبة مثالية للأشعة السينية ذات المهبط الثابت

(1) تعبير مجازي لتسهيل الشرح، وإلا فالمصطلح العلمي إثارة (**Excitation**).

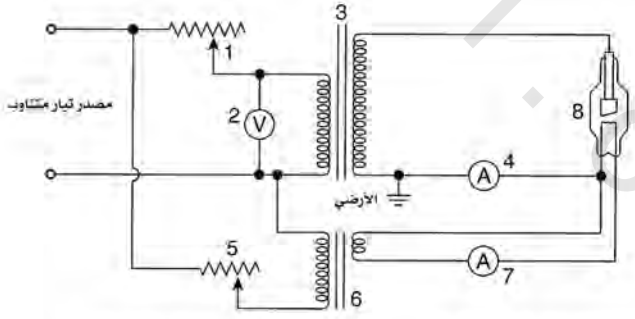
ويصنع مصعد القصدير أحياناً من كتلة صلدة وله مشعاع مزعنف يمتد إلى خارج الأنبوبة للمساعدة في التبريد. أما في الوحدات الأعلى طاقة، فيكون المصعد مجوفاً ويبرد بتدوير زيت أو ماء بداخله. وفي التطبيقات كما في التصوير الإشعاعي، فإن من المهم أن يكون مصدر الأشعة السينية صغيرًا جدًّا من أجل الحصول على تحديد جيد، ولهذا تثبت الفتيلة على كأس مقعر يركز الإلكترونات على مساحة صغيرة من الهدف. وفي هذه الحالة، يجب أن تتخذ تدابير خاصة لمنع التسخين الزائد للهدف. وقد يحتوي المصعد على قرص دوار، وفي هذه الحالة تبقى مساحة الهدف الفعالة صغيرة، ولكن تزداد المساحة المسخنة بصورة كبيرة ما يمكّن من تحميل الأنبوبة كثيراً دون تعريض المصعد للذوبان. وتستخدم هذه الأنواع من الأنابيب في وحدات الأشعة السينية الطبية، حيث تؤدي الكثافات العالية وأزمنة التعرض المنخفضة إلى تقليل المشكلات التي تسببها حركة الجسم.

### 12-2-3 الإمداد الكهربائي والتحكم:

الإمدادات الكهربائية المتطلبة لتشغيل أنبوبة الأشعة السينية هي: جهد كهربائي منخفض إلى الفتيلة وجهد كهربائي مرتفع جدًّا يسلط بين المصعد والمهبط، وتسد هذه الحاجة عادة من مصدر للتيار المتغير، ففي حالة الفتيلة يستخدم محول كهربائي لخفض الجهد والحصول على نحو 12 فولتًا متغيرًا بتيار يمكن تغيره في مدى أمبيرات عدة. أما جهد الأنبوبة (بين المصعد والمهبط) فيستخدم له محول آخر لرفع الجهد الكهربائي الرئيس (230 فولت في المملكة المتحدة[1]) إلى المستوى المطلوب لتشغيل الأنبوبة، وهو عادة ما بين 5,000 فولت وحتى ملايين الفولتات تبعًا لنوع الاستخدام. وحيث إن الجهد الكهربائي مستمد من موزع رئيس متغير، فإن الجهد بين المصعد والمهبط متغير كذلك، والشكل (12-2) يوضح تمديداً كهربائيًّا مثاليًّا.

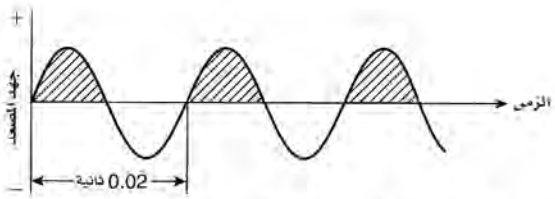
(1) 110 فولتات أو 220 فولتًا في بعض الدول الأخرى.

في أنبوبة الأشعة ذات المهبط الحار تنساب الإلكترونات من المهبط إلى المصعد فقط؛ لعدم وجود مصدر للإلكترونات في المصعد، ولا تنساب الإلكترونات إلى المصعد إلا بفعل الجهد الموجب (تذكر أن الإلكترون يحمل شحنة سالبة)، ولهذا تمرر الأنبوبة تياراً كهربائيًّا وتتولد أشعة سينية عندما يكون المصعد موجباً فقط، والشكل (12-3) يظهر تغير جهد المصعد مع الزمن، فالمساحة المظللة تمثل الأوقات التي تنساب فيها الإلكترونات نحو المصعد (يعني مرور تيار) فتتولد أشعة سينية على الهدف، ولهذا لا يكون إنتاج الأشعة السينية بصورة مستمرة، بل يكون على شكل سلسلة من النبضات، فإذا ما كان المصدر المتغير مثلاً ذا تردد مقداره 50 ذبذبة في الثانية، فإن هناك 50 نبضة من الأشعة السينية تنطلق في الثانية. إن هذا النبض له بعض الأهمية في تصميم أجهزة مراقبة الأشعة السينية، حيث إنَّ بعض أجهزة الكشف المصممة بشكل سيء قد تعطي قراءات تعتمد على تردد نبضات الأشعة السينية بدلاً من معدل الكثافة، وقد زودت بعض الأجهزة بدوائر كهربائية خاصة تعمل على تنعيم نتاج الأشعة السينية لتعطي مردوداً خارجيًّا أكثر انتظاماً مع الزمن.




1- وحدة التحكم في جهد الأنبوبة.
2- مقياس الجهد (فولتمتر).
3- محوّل جهد عال.
4- مقياس تيار الأنبوبة.
5- وحدة التحكم في تيار الفتيلة.
6- محول جهد منخفض.
7- مقياس تيار الفتيلة.
8- أنبوبة الأشعة السينية.

شكل (12-2) تمديد طاقة مبسط لجهاز أشعة سينية




شكل (12- 3) إنتاج الأشعة السينية في أنبوبة ذاتية التقويم

## 12- 3 نوعية الأشعة السينية وكثافتها:

تعتمد نوعية طاقة الأشعة السينية على قمة الجهد المسلط على مصعد الأنبوبة، فإذا كانت قمة الجهد في الشكل (12-3) هي 200,000 فولت يعبر عنها بـ 200 كيلو فولت قمة (أو بالإنجليزية 200 kVp) فإن أعلى طاقة للأشعة السينية المنتجة 200 كيلو فولت، غير أن هذه الطاقة قليلة جدًّا فيها، أما معظم الأشعة السينية فلها طاقات أقل، ومع هذا تعرف نوعية الأشعة السينية بطاقة القمة، فيقال: أشعة سينية طاقة 200 كيلو فولت قمة. وتعتمد شدة اختراق الأشعة السينية بصورة كبيرة على طاقتها، فإن نوعية الأشعة السينية المستخدمة لتصوير يد إنسان مثلا ستكون منخفضة كثيراً، ولا تصلح لتصوير لوح من الفولاذ سمكُه سنتيمتر واحد، ولهذا يسلط الجهد الملائم في الأنبوبة لإعطاء النوعية (الطاقة) المناسبة من الأشعة السينية لكل تطبيق، والجدول (12-1) يعطيك أمثلة عدة على جهد التشغيل المناسب وزمن التعرض في التصوير الإشعاعي في بعض التطبيقات الطبية والصناعية.

**جدول (12-1) أمثلة لجهد التشغيل في التصوير الإشعاعي.**

| الغرض | نوع التصوير | جهد القمة كيلو فولت | المسافة | التيار ملي أمبير |
|---|---|---|---|---|
| تشخيص إشعاعي | عظم الإصبع | 40 | 1 | 10 |
| | الجمجمة | 80 | 1 | 100 |
| | الصدر | 80 | 2 | 80 |
| | الحوض | 120 | 1 | 150 |
| تصوير صناعي | 6 ملم فولاذ | 120 | 0.5 | 10 |
| | 25 ملم فولاذ | 160 | 0.5 | 200 |

وبينما يتحكم جهد الأنبوبة في نوعية الأشعة السينية، فإن معدل الكثافة يحكمه مقدار التيار المار في الأنبوبة بين المصعد والمهبط، فهذا التيار المقيس بالملي أمبير يحدده عدد الإلكترونات المنطلقة من المهبط، وهذا العدد تحكمه حرارة الفتيلة التي تعتمد بدورها على مقدار التيار المار في دائرة الفتيلة ذات الجهد المنخفض. ومادام معدل الجرعة ينظم بتيار الأنبوبة فإن الجرعة الكلية في حالة ما تعتمد على تيار الأنبوبة مضروباً في زمن التعرض[1]، لذا فالجرعة المستلمة من التعرض لعشرة ملي أمبير مدة ثانية واحدة هي الجرعة نفسها عندما يكون التيار ملي أمبير واحد، ويكون الزمن عشر ثوانٍ، فالتعرض في كلتا الحالتين نفسه (أي 10 ملي أمبير- ثانية).

يعدّ معدل الجرعة من جهاز الأشعة السينية عالياً جدًّا مقارنةً بمعدل الجرعة من مصادر مثالية مغلقة لأشعة جاما. ويعرف المردود (الخارج) عادة بمعدل الجرعة الممتصة بالملي جراي في الدقيقة على بعد متر واحد من الجهاز، وتيار الأنبوبة هو ملي أمبير واحد. ويوضح الجدول (12- 2) بعض القيم المثالية للمردود (الخارج).

**جدول (12- 2) مردود (خارج) مثالي لأجهزة أشعة سينية**

| المرشحات | الطاقة القصوى كيلو فولت | معدل الجرعة على بعد متر واحد، ملي جراى/ دقيقة للملي أمبير الواحد |
|---|---|---|
| شباك بريليوم | 50 | 100 |
| 3 ملم ألمنيوم | 100 | 30 |
| 2 ملم قصدير + 1 ملم ألمنيوم | 200 | 20 |
| 3 ملم قصدير + 1 ملم ألمنيوم | 300 | 10 |
| 3 ملم قصدير + 1 ملم ألمنيوم | 500 | 25 |

(1) هذا يصح فقط إذا كانت طاقة الأشعة السينية ثابتة في كل الحالات، وإلا فلطاقة الأشعة السينية تأثير كبير في تحديد الجرعة.

تكمن أهمية نافذة البريليوم الرقيقة المذكورة في الجدول (12-2) في تقليل الخسارة في المردود (الخارج) لأنه في الجهود المنخفضة تكون شدة اختراق الأشعة السينية منخفضة إلى حد يجعل نسبةً عاليةً منها تمتص من قبل زجاج الأنبوبة.

أما في الجهود العليا فتوضع مواد امتصاص إضافية تعرف **بالمرشحات** في طريق حزمة الأشعة السينية، يكون الغرض منها امتصاص الأشعة المنخفضة الطاقة أو ما يسمى **بالأشعة اللينة**، دون أن تؤثر كثيراً على الحزمة المفيدة؛ لأنه -كما مر بنا سابقاً- تولّد الأشعة السينية بكل الطاقات حتى جهد القمة، والحزمة المفيدة هي النسبة القليلة من الأشعة ذات الطاقات العالية. أما بقية الأشعة فغير مرغوب فيها لأسباب عدة، ففي التصوير الإشعاعي الطبي مثلاً ليس للأشعة المنخفضة الطاقة أي دور في تكوين الصورة، ولكنها تؤدي إلى تعرض جلد المريض لجرعة غير ضرورية، والمرشح المستخدم عادة هو الألمنيوم بسمك مناسب.

## 12-4 الوقاية من الأشعة السينية:

### 12-4-1 قواعد عامة:

هناك اختلاف بين المصادر المشعة وأجهزة الأشعة السينية، فحيث تطلق المصادر الأشعة بصورة مستمرة فإن أجهزة الأشعة تشتغل وتتوقف، ويكون معدل الجرعة من الجهاز في أثناء التشغيل أعلى بكثير عما هو عليه في مصادر الإشعاع الصغيرة المغلقة؛ لذا يجب تشغيل الأجهزة بحيث لا يتعرض أي جزء من جسم عامل التشغيل أو أي شخص آخر إلى الحزمة المباشرة بصورة غير متعمدة. وفيما يلي القواعد العامة المطبقة من أجل حماية العاملين:

(1) التدريب الكافي لجميع العاملين الذين يشغلون أو يستخدمون معدات الأشعة السينية على الطرق الصحيحة في التشغيل وتعريفهم بالأخطار المحيطة بهم.

(2) تقليص حجم الحزمة الإشعاعية إلى الحد الأدنى الضروري، وذلك بتوفير الحواجز والحصول على المحزمات المتممة للجهاز.

(3) استخدام المرشح المناسب للتخلص من الأشعة اللينة غير المرغوبة.

(4) تشغيل أجهزة الأشعة السينية في غرف حاجزة للإشعاع ما أمكن ذلك، كما يجب أن يكون التحكم من خارج الغرفة، ويثبت قفل يمنع اشتغال الأجهزة طالما كان الباب مفتوحاً.

(5) توفير التنبيه الآلي المرئي والمسموع عند تشغيل الجهاز، أو عندما يكون على وشك التشغيل.

(6) التأكد من كفاءة تدابير التحكم بوضع نظام لمراقبة العاملين ومراقبة المنطقة.

إن التدابير المتخذة في كل حالة بعينها تعتمد بشكل كبير على نوع العمل والظروف المحيطة، إن التطبيقات الرئيسة للأشعة السينية هي في التصوير الصناعي والطبي، وهذا الفصل يتناول الحماية من الأشعة السينية في التطبيقات الصناعية وفي البحث، والاستخدامات الطبية مفصلة بإسهاب في الفصل الثالث عشر.

### 12-4-2 الوقاية من التصوير الإشعاعي الصناعي:

إن التطبيق الصناعي الرئيس هو في الفحوصات غير المتلفة للمنتجات، ومصنع المعالجة وفي تراكيب الهندسة المدنية، ويكون التصوير الإشعاعي -في بعض الأحيان- جزءاً من عملية الإنتاج، فيوضع في مكان مناسب في تجهيزات محجوزة إشعاعيًّا مع توافر الوقاية المناسبة، ويجري التصوير الإشعاعي في حالات أخرى في الخارج تحت ظروف غير مثالية كمواقع الإنشاءات، وفي تطبيقات أخرى وخاصة عندما يكون حجم الجسم يتطلب إشعاعاً أكثر قدرة على الاختراق فإن التصوير الإشعاعي يجري باستخدام مصادر لأشعة جاما، وعادة ما تكون كوبلت - 60 أو أريديوم - 192.

إن القواعد العامة التي تطبق في التحكم في أخطار التصوير الإشعاعي هي:

(1) ينبغي حصر استخدام الفحص غير الإتلافي، باستخدام الإشعاع المؤين عندما تكون له مزايا واضحة على الطرق الأخرى.

(2) يجب أن يجري التصوير الإشعاعي، أو أي عملية تستخدم فيها الأشعة المؤينة من ماكينة أو من مصدر مغلق، داخل حاوٍ محجوز إشعاعيًّا، إن كان ذلك ممكناً عمليًّا.

(3) يجب أن تكون لوحة التحكم في الأجهزة موضوعة خارج الحاوي، وأن تتوافر المعدات التي تضمن توقف الأجهزة آليًّا عندما يفتح باب الحاوي في أثناء التشغيل.

(4) من أجل حماية العاملين الذين قد يقفل عليهم سهواً داخل الحاوي؛ لا بد أن توفر لهم وسيلة الاتصال لطلب العون، إضافة إلى توافر واحد أو أكثر من التجهيزات الآتية:
- وسيلة للخروج.
- وسيلة لوقف الأجهزة.
- منطقة محمية من الإشعاع.

(5) يجب إعطاء إشارات مسموعة أو مرئية (أو كليهما) قبل البدء في تشغيل الأجهزة، وإشارة مختلفة في أثناء تشغيل الأجهزة، وعند استخدام مصدر جاما المقصود "بالتشغيل" أن المصدر خارج موقع خزنة المحجوز، "وعدم التشغيل" يعني أنه قد أعيد لموقع خزنه.

إن المشكلات الرئيسة التي وقعت تاريخيًّا في التصوير الإشعاعي عندما أجريت في ظروف الموقع من قبل متعاقدين أو متعاقدين في الباطن عادة. وكانت الجرع للمشغلين مرتفعة فعلاً، وكانت هناك حالات تعرض غير متعمدة لعمال آخرين، وكانت هناك حوادث

اشتملت على فقدان مصادر مشعة أو كسرها، والتغيرات التي أجريت حديثاً على الأنظمة هدفت إلى التأكيد أن أخذ الصور الإشعاعية في الموقع تكون فقط عندما لا يكون من العملي نقل الوحدة في حاوٍ مناسب محجوز، وعندما يتطلب إجراءه في الموقع أن يكون مخطط له بشكل مناسب ومتحكم فيه، وقبل أخذ أي صورة إشعاعية في ظروف الموقع، ينبغي إجراء تقويم الخطر لتحديد جميع المخاطر المتعلقة بالعمل المقترح، ويشمل كذلك المخاطر غير الإشعاعية، وينبغي اتخاذ كل التدابير المعقولة لحماية الآخرين في الموقع، مثل استخدام حواجز موضعية وقيود مادية على الدخول ، وينبغي إعطاء احتمال وقوع حوادث قد تؤدي إلى زيادة التعرض، وأخذ التدابير لمنع مثل هذه الحوادث أو تقليل عواقبها.

### 12-4-3 الوقاية في تطبيقات البحث:

يستخدم التطبيقان الرئيسان للأشعة السينية في البحث العلمي في التصوير السيني في علم البلورات وفي علم طيف الأشعة السينية. فالبلورات عبارة عن ذرات مرتبة حسب نظام معين، وقد وجد أنه عند تعريضها للأشعة السينية تتولد نماذج محددة من الأشعة المستطارة تعرف بنماذج الحيود، والطبيعة التفصيلية لهذه النماذج تعطي معلومات مهمة عن تركيب البلورات.

وتستخدم في علم البلورات حزمة من الأشعة السينية ذات فيض عالٍ جدًّا، ومقطع مستعرض صغير، وهذه تتسبب في مشكلات فيزياء صحية خاصة. أما في علم طيف الأشعة السينية فتشعع المواد بهذه الأشعة، فتحدث إثارة نتيجة امتصاص الطاقة، وتنطلق أشعة سينية ثانوية ذات طاقة مميزة للعنصر، ولهذا فإن عملية قياس هذه الأشعة السينية الثانوية تمكن من تحليل المادة.

والاحتياطات الواجب اتخاذها في مثل هذا النوع من العمل تشمل:

(1) يجب أن تكون الأجهزة محجوزة إشعاعيًّا بدرجة كافية، وعندما يكون من الضروري وجود منفذ إلى داخل المعدات فينبغي إما أن تتوقف الماكينة آليًّا، وإما أن تُتخذ الخطوات الناجعة لمنع إدخال أي جزء من الجسم في مسار الحزمة في أثناء التشغيل.

(2) عند استخدام نظام الكاميرا أو نظام تسديد الحزوز، يجب أن تكون الحزمة المفيدة محصورة تماماً لتوفير حجز إشعاعي كافٍ.

(3) يجب توافر معدات إنذار مرئية أو مسموعة تشغل آليًّا كلما كانت الأجهزة الإشعاعية مشتغلة.

## 5.12 مراقبة منشآت الأشعة السينية:

يعدّ المسح الإشعاعي الشامل من الإجراءات المهمة في ترخيص منشأة التصوير الإشعاعي، أو الأجهزة الأخرى التي تولد أشعة مؤينة. ويعطى اهتمام خاص للكشف عن أي ضعف محتمل في الحاجز الإشعاعي في كل من مواضع الاتصال في مواد الحاجز، ونوافذ الرؤية، والأبواب والثقوب، أو قنوات الصيانة. إن هذا المسح الذي يُجرى عادة عند أعلى حد لكل من جهد وتيار الأنبوبة تحت أوضاع التشغيل الاعتيادية، ثم تحت أشكال تشغيل محتملة. فلنفترض -على سبيل المثال- حالة التجهيزات التي صممت بحيث تتجه حزمة الأشعة السينية فيها في مستوى أفقي، وقد حفظت المناطق المتاخمة بجدران سميكة، فإذا ما غير اتجاه الوحدة، وأصبحت حزمة الأشعة موجهة باتجاه عمودي، فهل يحدث هذا مستويات من الإشعاع غير مقبولة في المناطق التي هي فوق أو أسفل التجهيزات؟ يجب أن يكون راسخاً في الذهن أنه إذا كان هذا التغيير ممكناً، فإن من المحتمل إجراءه في يوم من الأيام، وحتى لو كانت المناطق فوق وأسفل الحجيرة غير مأهولة، يمكن أن تحدث معدلات جرع خارج الحواجز نتيجة حيود الأشعة، وهذه تسمى غالبا "إضاءة السماء" [sky shine]. فإذا ما وجد أن من المحتمل حدوث

مستويات إشعاعية مرتفعة في مناطق مجاورة، فيجب اتخاذ التدابير المانعة لذلك، أو على الأقل إعطاء إنذار عند تلك الحالات، ويمكن أن يتم ذلك إما: بنصب حاجز ميكانيكي يمنع تشغيل الحزمة خارج حدود الوحدة، أو بإعداد الحواجز الإضافية، أو بنصب مراقب لأشعة المناطق لتعطي إشارات إنذار، وتفضل ـ عموماً ـ إحدى الطريقتين الأوليين.

ومن البدهي أن المسائل من هذا النوع يجب دراستها في مرحلة التصميم، ومع هذا فمن الضروري التأكد من سلامة التجهيزات بالقياس المباشر بعد الإنشاء. وينبغي إعادة المسح الإشعاعي بصورة دورية خاصة عند إدخال تغييرات في إجراء التشغيل.

ومن المهم العناية في اختيار أجهزة مراقبة الأشعة السينية، والمشكلة الرئيسة فيها **استجابة الطاقة**، فكثير من الأجهزة التي تعمل بصورة مقبولة لأشعة جاما والأشعة السينية المرتفعة الطاقة تعطي معدلات جرع سينية تنقص كثيراً عند أدنى من 100 كيلو فولت قمة تقريباً.

ومن المرجح أن تكون **غرف التأين** هي أنسب الأجهزة في أعمال الطاقات المنخفضة التي تحوي نافذة رقيقة، على الرغم من انخفاض حساسيتها في بعض الأحيان. والمشكلة المحتملة عند استخدام الأجهزة ذوات النبض (مثل أنابيب جايجر- ميولر) أن الجهاز قد يصل حد التشبع في معدلات الجرع العالية للأشعة السينية، ومع هذا يظل يظهر وكأنه يعمل بصورة مقبولة، ويعود هذا إلى طبيعة الأشعة السينية النبضية التي تسمح للجهاز أن يسترجع ما بين النبضات، والجهاز عادة يسجل معدل نبضات الأشعة السينية بدلاً من قياس متوسط معدل الجرعة. ومن حسن الحظ، أن هذه المشكلة نادرة في الأجهزة المصممة حديثاً، ولكنها قد تحدث بسبب عطب ما.

وسلامة التجهيزات تقررها أخيراً الجرع الإشعاعية التي يتعرض لها المشتغلون وغيرهم من الأشخاص القريبين، وهذه تقاس عادة بشارات الفيلم، على الرغم من أن بعض الهيئات تستخدم حالياً مقاييس الجرع الحراضوئية. ومن المفيد عادة استخدام عدة

شارات فيلم أو مقاييس أخرى للجرع لمراقبة أماكن محددة حول المنطقة وبصورة رتيبة. ويجب أن يكون معلوماً أن المراقب الشخصية صغيرة الحجم، وأن حزم الأشعة السينية - في التصوير البلوري خاصة - قد تكون صغيرة المقطع؛ لذا فمن المحتمل أن تضرب الأشعة العامل دون أن تصيب مرقابه الشخصي.

obeikandl.com

## خلاصة الفصل:

**الأشعة السينية:** أشعة كهرومغناطيسية منشؤها تغير موضع الإلكترون في مستوياته الطاقية، أو يكون المنشأ عندما تصطدم الإلكترونات بأهداف مواد مرتفعة الوزن الذري.

**أجهزة الأشعة السينية:** أنبوبة ووحدة تحكم منفصلة.

**الأنبوبة:** المصعد والمهبط في داخل أنبوبة زجاجية مفرغة.

**وحدة التحكم:** الجهد العالي يتحكم في نوعية الأشعة السينية، والجهد المنخفض المغذي للفتيلة يحدد القيض.

**الحماية من الأشعة السينية:** يمكن غلق الأجهزة، ولكن الخطورة عند التشغيل. وتعتمد تدابير السلامة على نوع التطبيق، ولكن تشتمل عادةً على أمور عدة هي: تدريب العاملين، ووضع الحواجز للغرف، ووضع المرشحات وأجهزة الإنذار، مع مراقبة الأشخاص والأماكن (أي استخدام المراقب).

## أسئلة للمراجعة:

(1) اشرح مع الاستعانة بالرسم تشغيل المهبط الحار في أنبوبة الأشعة السينية.

(2) قارن بين تأثير تغير جهد الأنبوبة وتيارها على الإشعاع الخارجي.

(3) قارن بين الأخطار الإشعاعية التي تشكلها مصادر كبيرة لأشعة جاما مع تلك التي تسببها وحدات الأشعة السينية.

(4) صمم حاويًا لجهاز أشعة سينية اعتيادي يُستخدم في الاختبار الإشعاعي لسبائك من المعدن، وبيِّن صفات الأمان البارزة التي يشتمل عليها.

(5) ما المشكلات الخاصة المتعلقة بمراقبة الأشعة السينية؟

obeikandl.com

# الفصل الثالث عشر

# الحماية الإشعاعية في الطب

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الثالث عشر

# الحماية الإشعاعية في الطب

## 13ـ 1 التطبيقات:

إن الأشعة المؤينة أداة قديرة في فروع عدة من الطب، فهي تساعد في التشخيص، وتستخدم في العلاج، ففي الأغراض التشخيصية هناك توجهان أساسيان: الأول بتمرير حزمة من الأشعة السينية عادةً خلال الجسم إلى كاشف مثل فيلم فوتوغرافي، ويولد الاختلاف في درجات الامتصاص في الجسم صورة تعطي معلومات عن **تركيب** الأعضاء الداخلية، فمثلاً تقنيات الأشعة السينية التقليدية يمكن أن تظهر عظام مكسورة، ورئات مريضة أو وجود ورم. والتقنية الأخرى ذات الأهمية العظيمة في التشخيص الطبي مبنية على المبدأ نفسه، وهي **التصوير المقطعي** ويعرف شعبيًّا بالمسح.

والتصوير المقطعي: هو تصوير لمقطع أي شريحة في جسم الإنسان. والتوجه الثاني يكمن في إدخال **مقتفي أثر مشع** في داخل الجسم من خلال الفم أو الحقن في مجرى الدم لملاحظة سلوكه باستخدام كواشف خارجية، وهذه التقنية يمكن أن تعطي معلومات عن موضوع وتطور المرض **وعمل** أجهزة الجسم مثل جريان الدم في المخ.

والتطبيق الرئيس للعلاج بالإشعاع هو في معالجة السرطان، يمكن للإشعاع أن يولد السرطان ومع هذا فمن الغريب أنه يمكن أن يعالج المريض في بعض الأحيان، ويعود ذلك إلى أن الخلايا التي تنقسم بسرعة حساسة بشكل خاص للإشعاع، وحيث إن السرطان هو عبارة عن مجاميع من الخلايا تنقسم بصورة غير منضبطة، فهي ـ في الغالب ـ أكثر حساسية للأشعة من الخلايا السليمة، وكما هو الحال في التشخيص فإن إجراء العلاج الإشعاعي يمكن أن يشمل استخدام حزم من الإشعاع تستهدف الأنسجة المريضة، أو تستخدم مادة مشعة تحقن في الجسم أو توضع عليه، والتقنية الأخرى المعروفة بالعلاج عن قرب تشمل غرس مصادر مشعة صغيرة ومغلقة مباشرة في موقع السرطان، ومن

المؤكد أن الجرع الإشعاعية أو مستويات المواد المشعة المستخدمة في إجراءات العلاج ينبغي أن تكون أكثر بكثير من تلك المستخدمة في التطبيقات التشخيصية.

وتسمى عادة التطبيقات المشتملة على إدخال مواد مشعة في الحالة السائلة داخل الجسم للتشخيص أو للعلاج بتقنيات **الطب النووي**. إن توزيع وتداول واستخدام التحضيرات المشعة وخاصة ذات مستويات الجرع الإشعاعية التي يحتاج إليها إجراء العلاج يمكن أن تؤدي إلى تلوث إشعاعي؛ لهذا ينبغي تطبيق إجراءات مناسبة للتحكم. وينبغي بخاصة اتخاذ تدابير خاصة عند التعامل مع المرضى الذين أعطوا مواد مشعة.

إن التقنيات المشتملة على الإشعاع والنظائر المشعة ذات قيمة عظمى في التشخيص الطبي وفي العلاج؛ ولكن ينبغي أن يبقى مستقرًا في الذهن أن التعرض الإشعاعي الناتج يشتمل على أخطار ينبغي وزنها مقابل الفوائد المرجوة. وكان هذا الأمر يقرره إلى وقت قريب نسبيًّا الهيئة الطبية، وكان الافتراض السائد أن هذه الأخطار تافهة مقارنة بفوائدها على المريض. إلا أنه في الأنظمة الحديثة ينبغي أن تكون جميع الأعمال الطبية المشتملة على الإشعاع مبررة على الوجه الأمثل؛ لتعطي أكبر فائدة للمريض.

## 13ـ2 القواعد العامة والتنظيم:

هناك مشكلات خاصة بالحماية الإشعاعية في الطب؛ لأن سلامة المريض وطمأنينته تأتي في الدرجة الأولى من الأهمية، والمريض الذي يعطى كمية كبيرة من المواد المشعة قد يشكل خطراً إشعاعيًّا ملحوظاً على الآخرين عند بقائه في المستشفى، ولا يمكن تطبيق الطرق الاعتيادية في الوقاية ـ التي شرحت في الفصول الأولى ـ كالحواجز والمسافة والاحتواء بالشكل المعتاد. ومع هذا فإنه ـ مع حسن تقدير الأمور ـ يمكن العناية بالمريض دون تعريض الآخرين لأخطار زائدة.

إن التنظيم والمسؤوليات في الحماية الإشعاعية في المنشآت الطبية تختلف من بلد لآخر، إن الأنظمة الوطنية في دول الاتحاد الأوروبي مبنية على القواعد العامة الموضوعة

في توجيهات المجلس، وبالنسبة إلى حماية المريض فإن توجيه المجلس المقصود هو (97/43/Euratom of 30 June 1997). إن القواعد المهمة ملخصة فيما يلي:

(1) إن التعرض الإشعاعي ينبغي أن يكون مبرراً، بحيث يكون له فائدة خالصة، وعملية التبرير هذه تطبق على مستويين:

( أ ) عرض عام (على المستوى الوطني عادةً) فأي نوع من الإجراءات الطبية الجديدة تكون مبررة قبل إدخالها.

(ب) إن تطبيق الإجراء على أي فرد ينبغي أن يكون مبرراً، آخذين في الحسبان أهداف التعرضات والظروف المحيطة بالمريض.

(2) ينبغي أن تكون كل التعرضات الإشعاعية في الذروة وبصورة خاصة:

( أ ) ينبغي أن يكون مستوى التعرض الأقل ما يمكن عمليًّا في الأعمال المتخذة لأغراض التشخيص، وبما يتواءم مع المعلومات المطلوبة.

(ب) بالنسبة إلى التعرضات للأغراض العلاجية، ينبغي أن يكون التعرض مخططاً له بصورة فردية، وينبغي التأكد من أن الجرع الإشعاعية في المناطق خارج حجم الهدف أقل ما يمكن الحصول عليه بشكل مقبول.

(3) ويؤخذ في معنى بلوغ الذروة أيضاً، إضافة إلى التخطيط المتأني - ينبغي تطبيق أفضل التقنيات المتوافرة وأن الإجراء برمته ينبغي أن يخضع لتأكيد الجودة.

(4) ينبغي إجراء الأعمال المشتملة على التعرض الإشعاعي للمرضى تبعاً للبروتوكولات المكتوبة.

(5) ينبغي إجراء التدقيق السريري بصورة دورية للتأكد من فعالية الإجراءات، وهذه يمكن إجراؤها على مستوى الأقسام، والمنشأة الطبية أو على المستوى الوطني.

(6) ينبغي تحديد المسؤوليات بشكل واضح، فمثلاً في معظم الأحيان يحيل - الاختصاصي الطبي (المحيل) المريض لإجراء ما إلى اختصاصي طبي آخر (المهني)

الذي يقرر تفاصيل الإجراء الإشعاعي، وسوف يجري بعد ذلك مصور الأشعة أو الفيزيائي الطبي، التقني (المشغل) العمل الحقيقي، بمساعدة الفيزيائي الطبي وبخاصة بالنسبة إلى الحصول على الإجراء الأمثل.

(7) كل هؤلاء المشمولين في الإجراء ينبغي أن يكونوا قد حصلوا على التدريب النظري والتطبيقي، وينبغي أن يكونوا حاصلين على الشهادات الرسمية المناسبة، مثل الدبلوم أو شهادات.

(8) ينبغي إعطاء عناية خاصة لطلبات الأعمال الإشعاعية التي تشمل الأطفال والنساء الحوامل والأمهات المرضعات، وينبغي إعطاء عناية خاصة أيضاً عندما تكون التعرضات ليست لها فوائد خاصة للأفراد المعرضين مثل المتطوعين المشاركين في الدراسات البحثية.

(9) ينبغي إجراء الأعمال الإشعاعية بحيث تقلل الجرعات للأفراد الآخرين.

إن متطلبات حماية العاملين في المجال الطبي والآخرين الذين قد يتعرضون نتيجة الأعمال الطبية هي بالأساس المطبقة في أي من الصناعات الأخرى المنصوص عليها في توجيه المجلس **Euratom** 29/96.

إن دول الاتحاد الأوروبي ملتزمة بالتوجيهات ذات العلاقة بواسطة قوانينها وأنظمتها الداخلية، ففي المملكة المتحدة مثلاً كل الأعمال في مجالات الإشعاع محكومة بمتطلبات أنظمة الإشعاع المؤين (1999م)، بناءً على مرسوم الصحة والسلامة في العمل (انظر الفصل 14)، هذه الأنظمة تنطبق على العاملين وعموم الناس الذين يتعرضون للإشعاع نتيجة أنشطة رب العمل، وهناك مجموعة أخرى من الأنظمة تطبق على المرضى، وهي أنظمة الإشعاع المؤين (التعرض الإشعاعي) (2000م). والمسؤولية النهائية في الحماية الإشعاعية في كل مجموعات الأنظمة تقع على عاتق رب العمل. أما في المستشفيات فإن مسؤولية حماية المرضى والعاملين وعموم الناس تقع على عاتق "أمانة الرعاية الأولية" ويستعملون صلاحيتهم عادة عن طريق "لجنة الصحة الإشعاعية"

و"مستشار الحماية الإشعاعية" (RPA). حيث إن مستشار الحماية الإشعاعية قد يغطي أقسام عدة أو حتى مستشفيات عدة؛ لذا من الضروري عادة تعيين "مشرف حماية إشعاعية" (RPS) على أساس العمل الجزئي في كل قسم. وكما أشير سابقاً بالنسبة إلى المرضى فإن المسؤوليات معرفة بشكل مستقل بالنسبة إلى المحيل والمهني والمشغل.

إن مفاتيح الأمور بخصوص السلامة في الحالات الطبية هو التدريب الابتدائي والمستمر للهيئة الطبية وإجراء جميع الأعمال الطبية تحت نظام صارم لتأكيد الجودة، إن هذا النظام ينبغي أن يضمن ـ من بين أمور أخرى ـ أن هناك سلسلة واضحة من المسؤولية التي يحدد بها وبشكل صحيح المرضى الذين ستجرى لهم أعمال إشعاعية وأن هذا العمل هو الأمثل، ويجرى ليعطي أكبر فائدة للمريض، ولا بد من التأكد أن الهيئة الطبية والمساعدين الآخرين والراعين للمريض (مثل العائلة والأصدقاء) محميون بشكل كافٍ. لقد تم التأكيد على إعطاء رعاية خاصة قبل إجراء أعمال إشعاعية للأطفال أو النساء الحوامل. وبالنسبة إلى المرأة التي قد تكون حاملاً ينبغي أن يؤخذ في الحسبان موعد آخر دورة، وإن تطبيق إجراءات الطب النووي الذي يشمل إعطاء النظائر المشعة، ينبغي أن يعطى اهتماماً خاصًّا إذا كانت المرأة مرضعاً.

إن مسؤولية الحماية الإشعاعية في المستشفيات تقع على عاتق الهيئة المسؤولة التي هي عادة لجنة إدارة المستشفى، ومستشار الحماية الإشعاعية. ولأن المستشار قد يقوم بتغطية أقسام عدة، بل مستشفيات عدة، فمن الضروري تعيين ضابط سلامة إشعاعية غير متفرغ في كل قسم.

من الضروري أن يكون جميع العاملين الذين يحتمل أن يتعرضوا للإشعاع في أثناء مزاولتهم أعمالهم قد أُعلموا بطبيعة الأخطار والاحتياطات التي ينبغي اتخاذها. وتعتمد الاحتياطات وطرق الوقاية على نوع المصدر، ويمكن تقسيمها للسهولة إلى نوعين:

(1) الحماية من المصادر المغلقة.

(2) الحماية من المواد المشعة غير المغلقة (المكشوفة).

وتشير المصادر المغلقة في هذا السياق إلى النويدات المشعة المكبسلة التي تطلق أشعة بيتا أو جاما، وإلى الأجهزة التي تولد الأشعة ومن ضمنها وحدات الأشعة السينية، ومعجلات الإلكترون، ومولدات النيوترون. والفرق الأساسي بين المصادر المغلقة، وغير المغلقة، هو أن النوع الأول ليست له مشكلات حدوث تلوث إشعاعي.

## 13-3 الإجراءات التشخيصية:

### 13-3-1 التشخيص بالتصوير الإشعاعي:

إن فحوصات التشخيص التي تشتمل على إجراء التشخيص الإشعاعي معتادة جدًّا في الطب الحديث، فمثلاً في المملكة المتحدة يجري نحو 40 مليون فحص إشعاعي كل سنة، والسواد الأعظم منها هو في الطب المعتاد، وأشعة الأسنان، ولكن هناك ازديادًا في الفحوص الأكثر تعقيداً التي تجري مثل المسح المقطعي (CTscans) وهي قد تجرى إما بوصفها جزءًا من فحص الأعراض لدى أفراد المرضى، أو جزءًا من عملية مسح عام. وهذا الأخير يعرف **باللا عرضي** (Asymptomatic) لأنها لا تجري نتيجة أعراض مقررة ولكن بوصفها جزءًا من برنامج لغرض الاكتشاف المبكر لأحوال طبية محددة. ومن الأمثلة المهمة لهذا تصوير الثدي الذي يوفر للنساء في مجموعة الأعمار بين 50 و70 سنة الكشف عن العلامات الأولى لسرطان الثدي.

لقد كانت تجري معظم فحوصات التشخيص الإشعاعي، حتى وقت قريب باستخدام وحدات الأشعة السينية مع أفلام الأشعة، وهذه الأنظمة بدأت تستبدل تدريجيًّا على الأقل في المنشآت الأكبر نتيجة التطورات التقنية، وذلك باستخدام أنظمة الصور الرقمية المباشرة (DDR). وهذه تستخدم مجموعة كواشف الحالة الصلبة، وتمتاز بكون الصور المتكونة يمكن خزنها بوسائط إلكترونية (مثل الحاسوب) ويمكن الحصول عليها عن بعد من قبل الطاقم الطبي.

ومهما كان نوع التقنية المستخدمة، فإن الاختيار المتأني لجودة الأشعة السينية (الجهد) والتعرض، تمكن من الحصول على صور إشعاعية ذات جودة جيدة باستخدام جرع منخفضة جدًّا للمريض، فمثلاً إن استخدام أفضل تقنية متوافرة لأشعة الصدر يمكن أن تعرِّض صدر المريض لجرعة قليلة قد تصل إلى 100 مايكرو سيفرت، ومع التصميم والتشغيل المناسبين ومع استخدام أدنى مساحة عملية للحزمة، تكون الجرعة لأجزاء الجسم الأخرى أقل من ذلك بكثير، وقد يكون من الضروري في بعض الأحيان أخذ أكثر من صورة إشعاعية، وحينها ينبغي أن يكون عدد الصور هو الأدنى مطلقاً.

يمكن تقليل الجرعة التي يتعرض لها من المصدر الإشعاعي بالتصميم الجيد للتجهيزات، مثل إعداد قسم من الغرف مفصول بحاجز واقٍ، حيث يجب على المصور الوقوف خلفه حتى يتمكن من تشغيل الوحدة. وقد تنشأ بعض الصعوبات أحياناً، فمثلاً قد يكون من الضروري إمساك الأطفال الصغار في الموضع الصحيح، فإذا لم يكن بالإمكان استخدام اللجام المثبت، فمن المستحسن أن يقوم أحد الوالدين بإمساك الطفل بدلاً من المصور الإشعاعي. وقد تَحْدُث أحياناً مشكلة مشابهة في التصوير الإشعاعي للأسنان عندما يتعذر تثبيت الفيلم في موضعه الصحيح في الفم، وفي هذه الحالة يجب على المريض إمساك الفيلم بدلاً من طبيب الأسنان أو أحد أعضاء الطاقم الطبي.

وهناك نقطة يجب أن تستقر في الذهن في أعمال الأشعة السينية الطبية، وهي أنه بالإمكان خفض الجرعة بصورة ملحوظة باستخدام حاجز واقٍ رقيق (إلى حد ما)، والسبب يعود إلى الانخفاض النسبي لطاقة الأشعة السينية المستخدمة (غالبًا أقل من 100 كيلو فولت قمة)، فمثلاً توجد مواد مشبعة بالرصاص يمكن أن تعمل منها صدريات أو قفازات، وهي مساوية في مقدرة حجزها لملي متر من الرصاص أو ما يقاربه.

وإضافة إلى أخطار الحزمة الأساسية يمكن أن تتشتت الأشعة السينية من المريض أو من المواد القريبة، وبذا تشكل خطراً إضافيًّا، وهذا ينبغي أخذه في الحسبان عند تقرير كيفية حماية العاملين وعموم المواطنين الذين قد تكون لهم مشاركة.

### 13-3-2 التشخيص اللصافي:

في الفلورة تستبدل اللوحة الفوتوغرافية المستخدمة في التصوير الإشعاعي بشاشة لصف (فلورة)، وبدلاً من استخدام نبضة واحدة قصيرة في التصوير الإشعاعي، يستمر عمل أنبوب الأشعة (أو تستمر النبضات) خلال الاختبار، وتتفلور الشاشة نتيجة التشعيع، ولهذا تعطي صورة حية. إن أساس هذه التقنية موضح في شكل (13-1)، إلا أنه ينبغي التأكيد أن هذا التنظيم لم يعد يستعمل نتيجة الجرع العالية التي يتعرض لها كلٌّ من المشخص والمريض. لقد مضت التقنية قدماً، والأنظمة المستخدمة حالياً أكثر تعقيداً. ومع مستويات التعرض المقبولة حالياً للأشعة السينية، فإن الصور المتكونة تكون خافتة ما اضطُر إلى استخدام مكثف للحصول على صورة يمكن رؤيتها من قبل الطبيب. ومن التحسينات أن الخارج من مكثف الصورة يمكن إيصاله إلى نظام فيديو، وهذا يعطي سجلاً للفحص، ويسمح للهيئة الطبية في مشاهدة الصور في منطقة ذات معدل جرعة منخفض، ويمكن الحصول على صور تكون أعلى جودة بكثير في بعض أنواع الفحوصات باستخدام جرعة مخفضة، وذلك بحقن وسيط مغاير، وهي محاليل كيميائية تمتص الأشعة السينية بشكل أكفأ من أعضاء الإنسان أو السوائل، وبهذا تعطي صورة محسنة. وتستخدم هذه التقنية عادةً في تصوير الأوعية الدموية (Angiography) المختصة بفحوصات الأوعية الدموية.

وتستخدم الفلورة أيضاً خلال إجراءات التدخل حتى يتمكن الجراح مثلاً من رؤية الإجراء المتخذ داخل جسم المريض. والشكل (13-2) يبين تجهيزات حديثة من هذا النوع، أما من ناحية الحماية الإشعاعية فإنه ينبغي إعطاء اهتمام خاص لهذا الأمر لكون يدي الجراح قد تكونان في مسار حزمة الأشعة السينية لمدد ملحوظة؛ لذا ينبغي مراقبة الجرع الناتجة والتحكم فيها، وقد يتطلب الأمر إضافة إلى ذلك حماية عيون الجراح نتيجة الأشعة المستطارة إلى الخلف، وفي هذه الحالة ينبغي استخدام إما نظارات رصاص زجاجية أو وضع شاشة رصاص زجاجية.

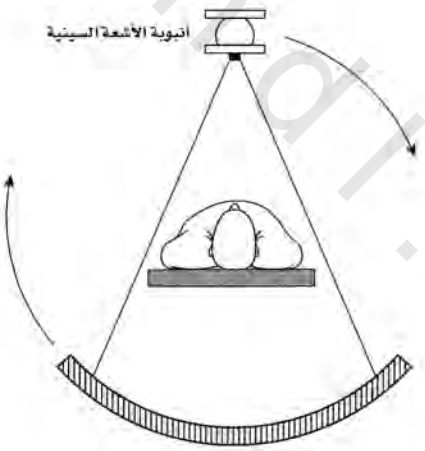
وعند التصوير الإشعاعي المصغر لكامل الصدر، يقف المريض أمام الشاشة في الحالة الاعتيادية، إلا أن شاشة الفلورة تصوَّر باستخدام فيلم صغير، وعند استكمال تعرض لفة الفيلم، يعالج وتُرى الصور الإشعاعية على شاشة عرض، والمحاسن الرئيسة في هذه اقتصادية؛ نظراً لأن كلفة الفيلم والمعالجة والخزن تقل بشكل كبير، أما المساوئ فإن الجرعة التي يتعرض لها المريض هي 1 ملي سيفرت تقريباً أو أكثر مقارنةً بـ 0.1 ملي سيفرت في التصوير الإشعاعي المعتاد لفحص الصدر باستخدام أفضل ممارسة.

شكل (13-1) أساس الاختبار اللصافي

شكل (13-2) استخدام التصوير اللصافي خلال إجراء عملية جراحية

### 13-3-3 التصوير المقطعي:

إن التصوير المقطعي الاختراقي (ويختصر عادةً بـ سي تي CT) يستخدم أنبوبة أشعة سينية ومجموعة من الكواشف مرتبة على هيكل، تثبت لتدور حول المريض وتخترق حزمة الأشعة السينية المخزمة الدائرة بشكل مستمر خلال الجسم، وتحلل ناتج قياسات الكواشف بالحاسوب الذي يولد صورًا لمقاطع أو شرائح الجسم. وكما هي الحال في التصوير اللصافي، يمكن تحسين الصورة بشكل كبير بحقن وسيط مغاير. والشكل (13-3) يوضح أساس تشغيل نظام التصوير المقطعي، حيث يدور المصدر والكواشف حول المريض، عندما يعترض هو أو هي الحزمة، والشكل (13-4) يوضح مثالاً لمنشأة حديثة. إن التصوير المقطعي يستخدم في كثير من أنواع الفحوصات الإشعاعية وهو مفيد بصورة خاصة في تشخيص الأورام السرطانية ومتابعتها.




شكل (13- 3) رسم توضيحي للتصوير المقطعي الاختراقي

شكل (13-4) منشأة حديثة للتصوير المقطعي التحريري (سي تي)

والجرعة التي يتعرض لها المريض تعتمد على نوع الأجهزة ومدة الفحص، وهي عادةً بين 1 و10 ملي سيفرت تقريباً ولكن هذه الجرعة موضعية، وتوضع الأجهزة عادةً في غرفة مدرعة ويكون مصور الأشعة في غرفة مجاورة تحت التحكم مجهزة بشاشة للنظر، وفي حالة احتياج المريض إلى الرعاية ستتوقف حزمة الأشعة السينية آليًّا عند فتح الباب. وهناك تقنية تشخيصية مشابهة تدعى **التصوير المقطعي لإطلاق البوزترون** (PET)، الذي يتضمن حقن نظائر مشعة داخل الجسم. وسيناقش هذا لاحقاً في هذا الفصل في الموضوع العام للطب النووي.

## 13-4 العلاج الإشعاعي:

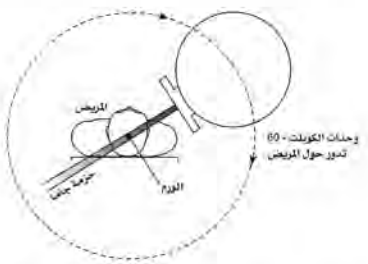
لقد لوحظ أنّ التطبيق الرئيس للعلاج الإشعاعي هو في معالجة السرطان، والهدف هو تعريض الأنسجة السرطانية إلى أعلى جرعة ممكنة دون إحداث جروح زائدة بالأنسجة الصحيحة المحيطة، وتعطي عادةً جرعات امتصاص تبلغ بضع عشرات الجراي،

تعطى هذه ـ عادة ـ بسلسلة من الجرعات الصغيرة مقدارها 20 جرعة كل منها 2 جراي مثلاً، بينها يومان أو ثلاثة، وهذا التقسيم ضروري لتقليل الآثار الجانبية.

وطريقة العلاج الأكثر شيوعاً تستخدم المسارعات الخطية مثلاً التي تستطيع رفع حزم الإلكترونات إلى طاقة عالية 6-20 مليون إلكترون فولت أو أشعة سينية ذات طاقة عالية 6 ملايين فولت قمة. وتستخدم أيضاً أشعة جاما من مصادر كوبلت - 60، كما تستخدم أشعة سينية بطاقة نحو 200 كيلو فولت قمة في علاج الأنسجة السطحية.

وتخفض جرعة الأنسجة الصحيحة كذلك بعد اختيار الطاقة المناسبة بتغير اتجاه الحزمة حول الجسم، ويتم ذلك إما بإجراء العلاج من اتجاه مختلف في كل مرة أو بتدوير المصدر بصورة مستمرة حول الورم السرطاني خلال العلاج، وأساس ذلك موضح في الشكل (13- 5) الذي يظهر معالجة لسرطان في المخ باستخدام وحدة علاج دوارة تحوي مصدراً كبيراً لكوبلت - 60، ومع أن الورم يتشعع باستمرار، فإن المناطق المحيطة به تتعرض للإشعاع خلال نسبة قصيرة من الوقت فقط. ومن الضروري استخدام حزمة محددة تماماً يمكن الحصول عليها باستخدام المسددات (collimatrs).

ماعدا في الجهد المنخفض (أقل من 100 كيلو فولت قمة) فإنه ينبغي توفير الحاجز الموضعي، بحيث يجري العلاج في غرفة حاجزة للإشعاع فيها مشابك مرتبة بحيث تتوقف الأجهزة عند فتح الباب، كما يتطلب وجود نافذة مشاهدة حاجزة للإشعاع ووسيلة للاتصال مع المريض.




شكل (13-5) معالجة ورم في الدماغ باستخدام علاج بالكوبلت – 60

يجرى جميع العلاج الإشعاعي ضمن نظام شامل لضمان الجودة، وهذا يتطلب خطة معالجة مفصلة للمريض. وتطبيق جودة تحكم مناسبة في جميع المراحل وهذا يتضمن عادة نظام محاكاة يشمل مسح سي تي لغرض التحديد الدقيق للمنطقة المراد تشعيعها. وعادة ما يعمل قالب للمريض، وهذا له وظيفتان: كمثبت للمريض ووسيلة في تحديد اتجاه الحزمة، ويتم التحكم آليًّا في زمن التعرضات للتثبيت من صحة الجرعة للمنطقة المستهدفة.

إن مفتاح ضمان الجودة هو الفحص والمعايرة المنتظمة للمعدات (بشكل يومي عادةً).

وكما مر بنا سابقاً، فإنّ العلاج الإشعاعي يمكن أن يكون فعالاً كذلك بالعلاج عن قرب الذي يشمل وضع مصادر صغيرة مغلقة داخل الورم أو قريباً منه، وتستعمل هذه المصادر عادةً بالوضع السطحي أو توضع في تجاويف الجسم أو الأعضاء بأنظمة وضع مصممة خصيصاً لهذا الغرض. وتجزأ الجرع في هذه الحالات وتكون مدة التعرض الواحدة من دقائق عدة إلى ساعات عدة، وفي بعض الأحيان ـ كما هي الحال في سرطان البروستاتا ـ تغرس جراحيًّا حبوب صغيرة لمصدر مشع، وتبقى في الجسم مفرغة جرعتها بمعدل منخفض نسبيًّا حتى إتمام الجرعة المطلوبة، وأكثر المصادر المعتاد استخدامها في العلاج عن قرب هي الأريديوم - 192، والسيزيوم - 137 واليود - 125.

إن أنظمة وضع المصادر مصممة لكي تخفّض نسبة تعرض العاملين الطبيين للإشعاع، وعندما تغرس الحبوب المشعة في باطن المريض ينبغي إعطاء اهتمام خاص للتحكم في تعرض الممرضات والعاملين الطبيين، وينبغي وضع تحكم على الزوار، ويمكن الحصول على تحكم مقبول بالتطبيق المعقول لقواعد الزمن والمسافة والحواجز. وينبغي إجراء فحص دوري للتسرب بالنسبة إلى المصادر التي يعاد استخدامها، وينبغي أن تكون هناك إجراءات طوارئ مكتوبة تحدد الخطوات العملية التي ينبغي اتخاذها في حالة حدوث تلف أو فقدان المصدر. ومن الممكن في بعض الحالات السماح للمرضى الذين تحتوي أجسامهم مصادر مشعة بالمغادرة، ويتم تقرير كل حالة على حِدَةٍ آخذين في الحسبان

نوع النويدة المشعة، وعمر نصفها، ومعدل الجرعة التي تحدد مقدار الخطورة على الأشخاص الآخرين.

وأخيراً ينبغي العلم أن الهدف من العلاج الإشعاعي؛ هو دائماً توصيل جرعة محددة مسبقاً للمنطقة المعالجة مع خفض الجرعة للأنسجة الصحيحة المجاورة، مهما كانت طريقة العلاج، سواءً كانت حزماً خارجية، أو مصادر مغلقة، أو عن طريق حقن مادة مشعة داخل الجسم.

## 13-5 الطب النووي:

يشير مصطلح الطب النووي إلى إدخال نظير مشع في حالة سائلة (وفي بعض الأحيان في حالة غازية) إلى داخل الجسم، إما لغرض التشخيص أو العلاج أو لدراسة المرض، ومع أن هذه الطريقة تعد قليلة الاستخدام، قياساً مع عملية استخدام حزم الإشعاع الخارجية؛ لكنها طريقة معتادة ومستخدمة، ففي المملكة المتحدة مثلاً تم عام 2000م نحو 700,000 إجراء طب نووي، وكان نحو 98٪ منها لغرض التشخيص و2٪ لأغراض العلاج.

ينبغي اتخاذ عناية خاصة في الطب النووي للنساء المرضعات، فقد يكون من الضروري نصح المريضة المرضع بالتوقف عن الرضاعة، حتى يتبين أن الخطر على الطفل منخفض بشكل كافٍ، وهذا يعتمد على الإجراء، وقد يكون من المطلوب اتخاذ الحذر لحماية الأقارب والأصدقاء والآخرين الذين يكونون على اتصال مع المرضى، وخاصة عند إخراج المريض من المستشفى، إذ لا يزال في جسمه مادة مشعة.

### 13-5-1 فحوص التشخيص بالنظائر المشعة:

إن الغرض من فحوص التشخيص بالنظائر المشعة هو دراسة عمل الجسم، وذلك بإدخال مقتفي أثر مشع بشكل مناسب إلى داخل الجسم وملاحظة سلوكه باستخدام

كواشف خارجية أو بمراقبة الخارج (من السبيلين). إن نمط توزيع النظير التتبعي يمكن تكوينه باستخدام كاميرا جاما التي تتكون من عدد كبير من الكواشف المسددة، ولقد بدأ الآن استخدام عمل مطوّر لهذا المبدأ الأساسي، الذي يشمل **التصوير المقطعي ذا الإشعاع الواحد** (PECT) وكما يشير فإن هذه مشابهة كثيراً للـ سي تي النافذة ولكن هذا الجهاز يكشف أشعة جاما المنطلقة من النظائر المشعة التتبعية في داخل الجسم، ويكون صورة لمقطع خلال العضو أو الجسم كاملاً، والأعضاء التي يمكن دراستها بهذه التقنية تشمل الرئتين والمخ والكبد والطحال والكليتين والغدة الدرقية والدم، ومعظم هذه الفحوصات تستخدم مستحضرات صيدلانية مناسبة موسومة بنظير مشع، وهو عادة تكنيسيوم – 99 م (TC-99m)، وهذا له ميزة كبيرة، وهي إمكانية الحصول عليه من مولّد نظير مشع، وهذا المولّد يحتوي عادةً على 0.04 تيرابيكريل مولبيديوم - 99 ($^{99}$Mo) الذي له عمر نصف مقداره 66 ساعة ويضمحل إلى مطلق خالص لأشعة جاما Tc-99m الذي يبلغ عمر نصفه 6 ساعات، إن $^{99}$Mo يمتص في أوكسيد القصدير، وعند إنتاج Tc-99m الوليد يتحرر إلى محلول ملحي في المولد وينقى في قوارير، ويركب إذا كان ضرورياً مع مستحضرات صيدلانية في أخرى؛ ليكون جاهزاً للصرف.

والتقنية الأخرى المستخدمة هي تقنية إطلاق البوزترون (PET). وفي هذه الحالة يكون النظير المشع المتبع هو مطلق بوزترون، وهو عادة فلورين-18، وجهاز الكشف يستبين أشعة جاما ذات الطاقة 0.51 مليون إلكترون فولت من فناء البوزترون[1] وهذه الأشعة تحتاج إلى حواجز كبيرة مقارنة بأشعة جاما المنخفضة الطاقة، المنبعثة من بعض النظائر المشعة الأخرى، وتستخدم أيضاً تقنيات أخرى أقل تعقيداً لا تقوم بالتصوير، فمثلاً عند دراسة نشاط الغدة الدرقية يستخدم كاشف واحد يكون قريباً منها، (انظر شكل (13-6) يعطي معلومات حول نشاطها.

(1) البوزترون: هو الجسيم المضاد للإلكترون، فهو مماثل له في الكتلة؛ ولكنه يحمل الشحنة الموجبة، ويفنى في اتحاده مع الإلكترون، مطلقين شعاعي جاما كل منهما بطاقة كتلة الإلكترون (0.51 مليون إلكترون فولت).

إن كميات النظائر المشعة المستخدمة في هذه الفحوصات تتراوح بين عشرات إلى مئات الملايين بيكريل، والجرعة التي يتعرض لها المريض عادةً ملي سيفرات عدة. ومع ازدياد المسح الإشعاعي بتقنية إطلاق البوزترون (PET) وخاصة التي تشمل استخدام الفلورين- 18 ينبغي المراقبة الدقيقة والتحكم بالعاملين المشاركين في إجراءات الطب النووي، ويمكن عادة التحكم في جرعة رؤوس الأصابع والعين باستخدام الطرق المناسبة في العمل، وفي أحيان كثيرة تكون الجرعة الكلية للجسم هي المحددة.

يمكن السماح للمريض بالمغادرة مباشرة بعد استكمال الفحص في معظم الأحيان؛ لأن النشاط الإشعاعي المنخفض الذي اشتمل عليه الفحص لا يمثل خطراً ملحوظاً على الأشخاص الآخرين، ويهبط النشاط الإشعاعي عادةً إلى مستوى منخفض جدًّا خلال أيام عدة، بالاضمحلال الإشعاعي والخارج (من السبيلين).

شكل (13- 6) فحص امتصاص الدرقية لليود المشع

شكل (13-7): نظام التصوير المقطعي التحرري

### 13-5-3 العلاج بالمصادر المشعة:

من الأفضل في بعض الحالات إجراء العلاج الإشعاعي باستخدام محاليل نويدات مشعة، تعطى إما عن طريق الفم أو بالحقن داخل الجسم، ويتم اختيار نويدات معينة تتجمع في العضو المراد علاجه، وبهذا تنخفض الجرعة التي يتعرض لها بقية الجسم. في معظم إجراءات العلاج المشتملة على إعطاء نويدة ذات عمر قصير إلى حد ما (8 أيام أو أقل) ويتم اختيار الكمية المعطاة بحيث تفرغ الجرعة المطلوبة، من وقت الأخذ حتى تحلل النويدة أو طرحها، والتطبيق الرئيس للعلاج بالنظائر المشعة هو في علاج سرطان الغدة الدرقية وفي نشاطها المفرط **thyrotoxicosis** باستخدام اليود-131. ويعطى (المريض) كمية من المواد المشعة تصل إلى نحو 500 مليون بيكريل لمعالجة سرطان الغدة الدرقية إلى جرعة 100 جراي وجرعة لكل الجسم تصل حتى 1 جراي، إن معالجة النشاط المفرط للغدة الدرقية مع أنه أكثر شيوعاً من معالجة سرطان الدرقية لكنها تشمل إعطاء عشر كمية اليود -131؛ لذا فهي تحدث عشر الجرعة.

ويجب رعاية المرضى الذين يعطون كميات علاجية من المواد المشعة تحت ظروف تسمح بالاحتواء السهل للمواد المشعة في حالة حصول تلوث، والأمثل توفير غرف خاصة مع تجهيزات في الموقع، وأن تصمم جميع السطوح لتسمح بالتنظيف السهل، وإذا كان الأمر يشمل استخدام باعثات جاما (مثل اليود-131) فقد يتطلب الأمر وضع الحواجز للتثبت من أن معدل الجرع في المناطق المجاورة لا يزداد بشكل ملحوظ، ولكي يكون نظام التهوية مثاليًّا يجب أن يتغير الهواء من (5 - 10) مرات في الساعة، وينبغي أن يصمم النظام بحيث يتثبت من انتفاء إمكانية تدوير الهواء إلى المناطق الأخرى، وينبغي ارتداء صدريات وقفازات عند إمساك المريض أو الشراشف الملوثة أو إفرازات الجسم، ويجب توافر مستودع خاص لحفظ مخلفات الشراشف الملوثة وعينات الإفرازات، ويقوم مشرف الصحة الإشعاعية (RPS) بتحديد القيود على مدة إجراءات الرعاية ومدد الزيارة، وينبغي توفير تجهيزات تنظيف ومراقبة للاستخدام عند مغادرة المنطقة على أن

تجري مسوح إشعاعية منتظمة للجناح. ومن المعتاد توجيه المخلفات السائلة وإفرازات الجسم عن طريق نظام مجارٍ مخصص، ولكن يفرغ إلى نظام المجاري العامة حيث تخفف بكميات السوائل من المناطق الأخرى التي تكبرها بكثير.

وفي بعض الحالات مثل معالجة النشاط المفرط للغدة الدرقية، يُجرى للمرضى علاج الطب النووي بوصفهم مرضى خارجيين، ويخرجون في يوم العلاج نفسه. أما إذا كانت كمية المادة المشعة المعطاة أكبر، كما هي الحال في علاج سرطان الغدة الدرقية، فإن المريض يبقى عادةً في المستشفى أيامًا عدة، وخلالها ينخفض مستوى النشاط الإشعاعي المتبقي في الجسم بسرعة.

يجرى إعداد المصدر المشع في مختبرات إشعاعية كميائية اعتيادية وتتحقق الحماية فيها بالطرق المفصلة في الفصل التاسع، التي تتمثل في تقليل كميات المواد المشعة المتداولة وفي احتوائها ما أمكن، وفي استخدام إجراءات وتجهيزات جيدة. ينبغي أن تكون درجة المختبر مناسبة للشدة الإشعاعية ولكمية النويدات المشعة المستخدمة، وينبغي تذكر إعطاء عناية خاصة في هذه المختبرات للمسات الأخيرة للسطوح والتهوية. وخزانات الأبخرة من المواصفات الأساسية حتى في حالة استخدام مستويات منخفضة فعلاً.

إن من المهم جدًّا أن يكون هناك تجهيزات منفصلة للتشخيص ولأعمال العلاج؛ لأن الفحوصات التشخيصية قد تفشل بسبب التلوث من المعدات ذات النشاط الإشعاعي المرتفع والمستخدمة في أعمال العلاج.

## 13-6 التحكم والتخلص من المواد المشعة:

قد يحتوي المستشفى الكبير على عدد كبير جدًّا من المصادر المشعة من كلا النوعين المغلق وغير المغلق، ولهذا فهي تتطلب منطقة خاصة للخزن، وتوضع في مكان يقل فيه خطر تلفها بسبب حريق أو فيضان، ويجب ألا يغفل التأكيد على أهمية وضع سجلات

جيدة لموضع كل مصدر، والتفقد المنتظم لكل المصادر[1]، ويجب إجراء فحوص البحث عن التسرب لكل المصادر المغلقة مرتين سنويًّا، وينبغي الإيقاف المباشر لاستخدام أي مصدر يُظهِرُ تسرباً ملحوظاً. ويجب حفظ ونقل المصادر التي هي خارج المستودع الرئيس في حاويات مصرح لها فقط، وينبغي بناء هذه الحاويات بحيث توفر الحجز والاحتواء الكافيين لمنع الانتشار في حالة حدوث تلف المصدر، ويجب أن يكون مؤشَّرًا عليها بوضوح أنها **مشعة**، وتحمل علامة الإشعاع ذات الوريقات الثلاث المتعارف عليها، ويجب توافر الإجراءات المكتوبة التي تفصّل ما ينبغي اتخاذه في حالة فَقْدِ مصدر ما أو تسرّبه.

يشترط في المصادر المغلقة الكبيرة متطلبات خاصة للتأكد من بقائها في أمن وأمان لتجنب الحوادث وإساءة الاستخدام.

إن التخلص من المصادر الكبيرة مكلف جدًّا؛ لذا ينبغي التأكد من توافر التمويل الكافي لهذا الغرض في نهاية الحياة المفيدة للمصدر.

يطلب من المستشفيات في المملكة المتحدة بناءً على إجراء المواد المشعة لعام 1993م تسجيل المواد المشعة والحصول على تصريح لكل من التجميع والتخلص من المخلفات المشعة. إن السياسة العامة للتخلص من المخلفات المشعة في المستشفيات هي باستخدام الطرق التقليدية المحلية كلما كان ذلك ممكناً. إن المخلفات الصلبة التي تحوي مواد إحيائية (وتسمى عادة المخلفات السريرية) تجمع عادةً في أكياس بلاستيكية صفراء، وترسل للحرق في درجات عالية.

ويتم التخلص من رماد الحرق مع المخلفات الصلبة ذات الإشعاع المنخفض مع المخلفات العادية (غير المشعة) التي تجد طريقها عادة إلى موضع إلقاء القمامة في المنطقة.

(1) تمثل هذا التفقد المنتظم للمصادر المشعة يمكن تلافي حوادث ليست في الحسبان، مثل الحادث المؤلم الذي وقع في مدينة المحمدية في المغرب.

وكما نوقش سابقاً، فإن المخلفات السائلة ذات الإشعاع المنخفض مثل غسيل المختبر أو إفرازات المرضى يُتَخَلَّصُ منها عن طريق شبكة المجاري الاعتيادية.

وينبغي وجود سجل محفوظ لكل المخلفات الصلبة والسائلة التي يتم التخلص منها، وقد لا يكون من العملي ـ عادة ـ قياس نشاط المخلفات وتركيبها، ولكن يمكن عمل تقدير معقول لها من معرفة كميات النويدات المختلفة المستخدمة. وقد تم شرح موضوع التخلص من المخلفات الإشعاعية بتفصيل أكثر في الفصل الحادي عشر.

obeikandl.com

## خلاصة الفصل:

**الإشعاع**: أداة قديرة في الطب، تُستخدم في التشخيص والعلاج.

**المبررات**: إن الإجراءات الطبية المتضمنة إشعاعاً ينبغي استخدامها عندما يكون لها فوائد مباشرة للمريض.

**بلوغ الذروة**: ينبغي الوصول إلى الذروة لأجل الحصول على أقصى فائدة.

**التصوير الإشعاعي**: هو عبارة عن حزم أشعة ـ ويكون عادة بواسطة الأشعة السينية ـ تُساعد في الكشف عن كيفية تركيب الأعضاء الداخلية، وتستخدم الأفلام الفوتوغرافية في معظم التطبيقات، ولكن تطبيق الطرق الرقمية بازدياد، ما يعني إمكانية خزن الصور في وسائط إلكترونية يمكن الوصول إليها عن بعد.

**التصوير اللصافي**: وسيلة للحصول على صور متحركة للعمليات الفسيولوجية (وظائف الأعضاء) وبذلك يتم الحصول على معلومات حول عمل أعضاء الجسم. ويمكن زيادة حساسية الفحص في كثير من الحالات باستخدام وسيط مغاير. ومكثف الصور جزء أساسي في العملية إذا أريد إبقاء جرعة المريض والعاملين في الحدود المقبولة. ينبغي اتخاذ عناية كبيرة في تصميم وتشغيل التجهيزات اللصافية لتجنب التعرض الزائد للمريض وللهيئة الطبية.

**التصوير المقطعي التحريري** (CT): الاسم المشهور له المسح. يستخدم حزمة أشعة سينية ومجموعة من الكواشف لتكوين سلسلة من الصور لمقاطع الجسم. ويمكن تحسين جودة الصورة بشكل كبير باستخدام وسيط مغاير. وتوضع الأجهزة عادة في غرفة محجوزة، ولا يحتاج المصور عادة إلى دخول الغرفة في أثناء المسح.

**العلاج الإشعاعي**: العلاج بالأشعة السينية وأشعة جاما والإلكترونات والنيوترونات أو المصادر المشعة الصغيرة. ينبغي استخدام العلاج الإشعاعي بحزمة الأشعة في غرفة معالجة

مصممة خصيصاً لهذا الغرض. ينبغي الانتباه بشكل خاص في تصميم الدروع والأقفال وأجهزة الإنذار لخفض الجرع التي تصيب العاملين.

**العلاج الإشعاعي عن قرب:** يشمل وضع مصادر مغلقة صغيرة مباشرة في موقع السرطان. ينبغي أخذ الاحتياط لمنع المريض الذي يحمل مصدراً مشعًّا صغيراً مغلقاً من أن يصبح مصدر خطر إشعاعي للمرضى الآخرين والزوار، وربما ينبغي اعتبار المناطق التي يعالج فيها مثل هؤلاء المرضى مناطق متحكمًا فيها.

**الطب النووي:** هو عبارة عن استخدام النظائر المشعة في التشخيص والعلاج، وهذا يتطلب عناية خاصة في تصميم المختبرات وأقسام النظائر المشعة لتناسب الأنشطة مثل الصيدلية الإشعاعية (تركيب الأدوية)، والخزن الموضعي والطرح، وإعطاء النظير المشع للمريض، والقياسات السريرية، وقياس العينات، وإزالة التلوث.

ويستخدم في فحوص التشخيص نظائر ذات أعمار أنصاف قصيرة ونشاط إشعاعي قليل، في حين يستخدم في العلاج الإشعاعي نشاط إشعاعي مرتفع. ومن الضروري اتخاذ احتياطات خاصة في رعاية المرضى لتجنب انتشار التلوث. ينبغي ممارسة التحكم على العاملين في التمريض ومساعدي المريض مثل العائلة والأصدقاء.

**التخلص من المخلفات:** يشمل النظر في الطرق المصرح بها للتخلص من المخلفات (مثل المجاري والمناطق المحلية لتجميع القمامة بعد الحصول على تصريح بذلك). وينبغي الاحتفاظ بسجل للكميات وللنشاط الإشعاعي للمخلفات التي يتم التخلص منها.

## أسئلة للمراجعة:

(1) ما التطبيقات الرئيسة للمواد المشعة ومصادر الأشعة المؤينة الأخرى في الطب؟

(2) اكتب قائمة ببعض القواعد الأساسية التي يجب تطبيقها في حماية المرضى والعاملين؟

(3) ناقش الطرق المختلفة للتشخيص الإشعاعي المتوافرة باستخدام المصادر المغلقة وقارن بين مميزاتها؟

(4) اشرح المشكلات الإشعاعية الخاصة التي قد تنتج عند رعاية المرضى الذين أعطوا كميات علاجية من المواد المشعة؟

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الرابع عشر

# التشريع والأنظمة
# المتعلقة بالحماية الإشعاعية

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الرابع عشر

# التشريع والأنظمة المتعلقة بالحماية الإشعاعية

## 14ـ1 مقدمة:

يختلف كل من التشريع والأنظمة المتعلقة بالحماية الإشعاعية بشكل ملحوظ من دولة لأخرى، وهي مرتبطة بشكل كبير بعدد من التشريعات الأخرى من مثل تلك المتعلقة بالتحكم في الطاقة النووية، ولا يمكن إعطاء رأي واحد لكل الأنظمة الوطنية ذات العلاقة بالموضوع في هذا الكتاب، وعلى القارئ الذي يريد معلومات أخرى عن وضع الأنظمة في بلد ما، أن يعود إلى المراجع المتعلقة بذلك. ولكن نقطة البداية عن أنظمة الإشعاع المؤين هي توصيات الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) التي أدخلت في معايير وتوجيهات دولية واسعة قبل أن تجد طريقها في النهاية إلى التشريع الوطني، وسيتم في هذا الفصل النظر ببعض التفصيل للوضع التشريعي المتعلق بهذه القضية في كل من فرنسا وألمانيا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية.

## 14ـ2 توصيات الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP):

إن السبب في التشابه الكبير بين أنظمة الإشعاع المؤين في العالم، يعود الفضل فيه بشكل رئيس إلى الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) وهي منظمة علمية غير حكومية قامت عبر ما يزيد على 70 عاماً بنشر توصياتها حول الحماية من الإشعاع المؤين، ومرجعيتها في ذلك معترف بها عالميًّا، حيث تقدر الحكومات المختلفة توصياتها وتضعها كل واحدة منها موضع التطبيق بطرق تتناسب مع أحوالها، وقد نشرت أحدث توصيات الهيئة عام 1991م (ونوقش ذلك في الفصل السادس) ومعظم الدول تطبق الآن هذه التوصيات في تشريعاتها الوطنية.

هذا وقد قامت مجموعة مكونة من ست منظمات دولية بوضع معايير أساسية للسلامة من أجل الحماية الإشعاعية على أساس منشور الهيئة رقم 60، وشملت المجموعة: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، ومنظمة الصحة العالمية (WHO)، ومنظمة العمال العالمية (ILO)، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتطور الاقتصادي (OECD-NEA)، ومنظمة الغذاء والزراعة التابعة للأمم المتحدة (FAO)، والمنظمة الأمريكية للصحة.

وترك لكل دولة تقرر كيفية إدخال توصيات الهيئة والتوصيات المعيارية الدولية الأخرى للإشعاع المؤين في هيكل أنظمتها الوطنية، والمملكة المتحدة بوصفها عضواً في الاتحاد الأوروبي (EU) تتبع الإجراءات المطلوبة من دول الاتحاد بالاتفاقيات ذات العلاقة.

## 14-3 التوجيهات الذرية الأوروبية:

إن الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي ملزمة بنصوص المعاهدة التي على أساسها كونت الجماعة الأوروبية للطاقة الذرية (Euratom)، ومن متطلبات هذه المعاهدة: أنه ينبغي وضع معايير أساسية في الجماعة حماية للعاملين والمواطنين من الأخطار التي يمكن أن تنتج من الإشعاع المؤين. وهذه المعايير نشرت عن طريق "توجيه أساسي لمعايير السلامة" ينبغي تطبيق محتواه في الدول الأعضاء. إن التوجيه الأحدث الذي تبنته هذه الدول عام 1996م، أخذ في الحسبان التوصيات الواردة في نشرة الهيئة الدولية للحماية من الإشعاع رقم 60.

## 14-4 تحويل توجيه الاتحاد الأوروبي إلى قانون للمملكة المتحدة:

إن تحقيق معظم متطلبات التوجيه الأساسي لمعايير السلامة في المملكة المتحدة تم تحقيقها بواسطة أنظمة الإشعاع المؤين عام (1999) الذي بدأ تطبيقه في الأول من يناير عام 2000م، والذي أعد تحت مرسوم الصحة والسلامة في العمل (HSW) (1974م)، ولقد وضع هذا المرسوم ليوضح التشريع الحالي المجزأ والمتعلق بالصحة والسلامة خاصة

بالنسبة إلى الأشخاص في العمل والأشخاص الذين قد يكونون عرضة لبعض الأخطار نتيجة لطبيعة عملهم، حتى يتم إنشاء هيئة للصحة والسلامة (HSC) مكونة من ممثلين عن منظمات أرباب الأعمال، واتحادات التجارة ومنظمات أخرى مثل السلطات المحلية، وستكون هذه الهيئة مسؤولة حسب المرسوم عن وضع الأنظمة وتوزيع المعلومات لأرباب الأعمال والعاملين وغيرهم، وعمل الترتيبات والقيام بأي بحوث أو تدريب ضروري وتقديم المشورة في تفسير المرسوم. ورفع التوصيات إلى سكرتير الدولة المعني، وسوف تكون الإدارة الحقيقية لمتطلبات تشريع المرسوم من مسؤولية المجلس التنفيذي للصحة والسلامة (HSC) المكون من ثلاثة أشخاص معينين من قبل الهيئة، وتقع المسؤولية على المجلس التنفيذي لعمل التنظيمات اللازمة لتنفيذ نصوص التشريعات ذات العلاقة إلا إذا أحيل هذا التنفيذ إلى سلطات أخرى (مثل السلطات المحلية)، فالمجلس التنفيذي للصحة والسلامة ينفذ الأنظمة المختلفة من خلال عدد من المفتشين الذين أدخلوا في التنظيم العام للتفتيش مثل مفتشي المصانع والمنشآت النووية وغيرها. ومرسوم الصحة والسلامة في العمل (HSW) واسع جدًّا ومعقد؛ لذا ينصح الأشخاص الذين عليهم مسؤوليات متعلقة به أن يقرؤوا الأنظمة التفصيلية.

## 14ـ5 الإطار المنظم تحت مرسوم الصحة والسلامة في العمل:

إن الإطار المنظم للحماية الإشعاعية الذي تبنته هيئة الصحة والسلامة عام 1999م، يحوي أنظمة الإشعاع المؤين (1999م) وقواعد عملية موافقًا عليها تدعى العمل في الإشعاع المؤين، وهذه القواعد الموافق عليها مع الأدلة المصاحبة لها تعطي توجيهات تفصيلية عن غرض ومهام المتطلبات المفروضة في أنظمة الإشعاع المؤين (1999م).

### 14ـ 5ـ1 الأنظمة:

إن القاعدة الأساسية في أنظمة عام 1999م، هي أنه ينبغي اتخاذ كل الخطوات الضرورية لتقليل تعرض الناس للإشعاع المؤين ما أمكن ذلك بشكل معقول عمليًّا.

وهذا يعني أنه لا يكفي الالتزام بحدود الجرعات المذكورة في الأنظمة، بل هناك متطلب آخر وهو المقارنة بين تكلفة الضرر الصحي الممكن نتيجة التعرض وتكلفة تقليل أو إلغاء التعرض.

ولوضع خطط الحد من التعرض تتطلب الأنظمة استخدام قيود الجرعة عندما يكون ذلك مناسباً، إن إدخال قيود الجرعة بوصفه أداة للمساعدة في عملية بلوغ الذروة (optimization) قد أدخلت في نشرة الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية رقم 60، وينحصر استخدامها في استشراف المستقبل للمساعدة على التأكد في مرحلة التصميم من عدم استهلاك أي تطبيق جديد مقدارٍ غير متناسب من حد الجرعة ذي العلاقة. ومع ما لهذا من فائدة من الناحية النظرية ولكن الخبرة أظهرت أنه من الصعب تجنب وقوع لبس في القيد وبين حدود الجرعة ومستويات البحث؛ لذا تقوم الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية بإعادة النظر في فائدتها.

والأنظمة تحدد إضافة إلى ذلك قيمة للجرعة مقدارها ثلاثة أعشار حدود الجرعة السنوية للعاملين الذين تصل أعمارهم إلى 18 سنة أو أكثر، وإذا ما تجاوزت الجرعة الحد المعيّن، ينبغي التحري بشكل معقول عمليًّا للتأكد من أن الجرعات منخفضة إلى أدنى حدّ، وينبغي اتخاذ إجراءات تصحيحية إذا لم يكن الأمر كذلك.

إن حدود الجرعات المنصوص عليها في الأنظمة للأصناف المختلفة من الأشخاص (العاملين الذين هم تحت التدريب وعموم المواطنين وخاصة النساء اللواتي في عمر الإنجاب) تشير إلى مجموع الجرعة الممتصة والملزمة من المصادر الخارجية والداخلية لكل الجسم أو لجزء منه نتيجة أنشطة العمل.

إن حدود الجرع الأساسية المحددة في الأنظمة للجرعة المؤثرة لأي عاملٍ من عمر 18 سنة أو أكثر هي 20 ملي سيفرت في أي سنة شمسية، إلا أنه إذا استطاع رب العمل أن يبين أن حد الجرعة هذا غير عملي، فإنه يمكن جَعْل حد الجرعة 100 ملي سيفرت

خلال خمس سنوات متتالية شريطة ألا يزيد أقصى معدل للجرعة في كل سنة شمسية عن 50 ملي سيفرت.

وقد تبنى أرباب العمل في المملكة المتحدة عموماً جرعة سنوية مؤثرة مقدارها 20 ملي سيفرت، وجرعة منخفضة للمتدربين (6 ملي سيفرات) تحت عمر 18 سنة، أما حد الجرعة المؤثرة لبقية الناس فهي 1 ملي سيفرت في أي سنة شمسية.

إن أنظمة عام 1999م حددت أيضاً حدود الجرع الفردية لعدسة العين، والجلد والأيدي والأذرع والأقدام والكاحل، أما حدود الجرع المكافئة للبطن للمرأة الولود العاملة فهو 13 ملي سيفرت في أي 3 أشهر متتالية.

ولتيسير التحكم في الجرع، فإن الأنظمة تتطلب تحديد مناطق قابلة للتحكّم، إذ ينبغي أن تعيَّن ضمن الأشخاص المصنفين إلا إذا كان هو أو هي تدخل تحت نظام للعمل مصمم يضمن عدم التعرض لجرعة ذات بال.

وهناك أنظمة أخرى تتعلق بتعيين أطباء يقومون بمراجعة الكشوف الطبية، وينبغي أن يكون هناك نظام للتقويم المنتظم للجرعات التي يتعرض لها الأشخاص المصنفون، وينبغي استخدام خدمات لقياس الجرعات الشخصية، مصرح لها من قبل هيئة الصحة والسلامة (HSE)، وإضافة إلى ذلك هناك حاجة إلى:

- توفير أجهزة الأمان المناسبة، ومؤثرات الخطر وأدوات المناولة وغيرها.
- أجهزة فحص تسرب المصادر المشعة.
- معدات حماية وملابس وفحصها.
- مراقبة الإشعاع ومستويات التلوث.
- خزن المواد المشعة بشكل آمن.
- تصميم وبناء وصيانة المباني، وتوفير تجهيزات ومعدات لتقليل التلوث.
- عمل ترتيبات للطوارئ للتعامل مع الحوادث المحتملة غير المتعمدة.

وهناك متطلب لعمل مسح إشعاعي للأخطار المحتملة عندما تكون هناك كميات كبيرة من المواد المشعة، ومن ثم كتابة تقرير ترسل نسخة منه إلى هيئة الصحة والسلامة.

وعلى الناس أن يخبروا هيئة الصحة والسلامة (HSE) عندما يستخدمون الإشعاع المؤين، وذلك لغرض إجراء تقويم مسبق للأخطار التي قد تنتج من عملهم في الإشعاع المؤين. وينبغي إخبار هيئة الصحة والسلامة عندما يكون هناك تحرر أو فقدان لمواد مشعة، وعندما يتعرض شخص ما لجرعة زائدة من الإشعاع، وينبغي عمل تحرٍّ عند التعرض لجرعات زائدة وتحفظ السجلات بذلك.

ومن متطلبات الأنظمة توفير المعلومات عن الأخطار المحتملة والتعليمات والتدريب للأشخاص الذين يتعاملون مع الإشعاع المؤين، وإضافة إلى ذلك هناك متطلبات لكتابة قواعد محلية تغطي كل ترتيبات الحماية الإشعاعية، وتوفر الإشراف على العمل المتضمن إشعاعًا مؤينًا وهذا يتطلب عادة تعيين مشرف للحماية الإشعاعية (RPS)، وعلاوة على ذلك فإن الأنظمة تتطلب تعيين مستشارين للحماية الإشعاعية (RPAS) كلما كانت هناك حاجة لاستشارة خبير وخاصة إذا احتاج رب العمل إلى تحديد منطقة متحكم فيها أو أكثر من منطقة.

أما بالنسبة إلى التعرض الطبي، فإن الجرعات التي يتعرض لها المرضى الذين تجرى لهم فحوص أو معالجة طبية تشمل استخدام إشعاع مؤين، فإن هذه الجرعات لا تحسب في تقرير حدود الجرعات، أما الجرعات التي يتعرض لها المرضى بسبب فحص مرضى آخرين فإنها تؤخذ في الحسبان، وهناك إضافة إلى ذلك متطلب عام هو أن الهدف الطبي من التشخيص أو العلاج ينبغي تحقيقه بأقل جرعة ممكنة.

### 14-5-2 مرسوم العمل المصرح به وتوجيهات أخرى:

إن أنظمة الإشعاع المؤين (1999م) تحوي المتطلبات الرئيسة للتحكم في التعرض للإشعاع المؤين، أما تفاصيل الطرق المقبولة التي توفي بهذه الأنظمة فهي موجودة في

مرسوم العمل المصرح به والمساند لهذه الأنظمة، وهذا ليس مستنداً قانونيًّا بذاته، ولكنه يؤخذ في الحسبان في التقاضي عند تقرير ما، سواء كان الشخص أو المنشأة ملتزمين أو غير ملتزمين بأنظمة مرسوم الصحة والسلامة في العمل. ومرسوم العمل المصرح به صيغ بشكل أسهل فهماً من الأنظمة التي تحكمه بكثير، ويستطيع تفسير سبب الإجراء المتضمن، وبهذا يعين على فهم القارئ.

### 14-5-3 التقويم المسبق للأخطار:

إن النظام 7 من أنظمة الإشعاع المؤين (1999م) يتطلب ما يلي: "قبل أن يبدأ رب العمل المستخدم للإشعاع نشاطاً جديداً يشمل إشعاعاً مؤيناً لم يجرِ له من قبل تقويم للأخطار، ينبغي له إجراء تقويم مناسب وكافٍ للأخطار لأي من العاملين والأشخاص الآخرين لغرض تحديد الإجراءات المتطلب منه إجراؤها لتحديد تعرض ذلك العامل أو الأشخاص الآخرين للإشعاع المؤين".

وهذا يعني أنه قبل بدء أي عمل إشعاعي جديد، ينبغي للشخص المسؤول وهو المشرف على العمل عادة، التأكد أن تقويم الخطر قد عمل بحيث يحدد الأخطار وتقوَّم الأخطار لجميع العاملين ولمن يتوقع تعرضهم للخطر من الآخرين.

إن تقويم الخطر هذا ينبغي أن يكون مناسباً وكافياً، ولتحقيق ذلك ينبغي أن تتبنى طريقة منظمة ثابتة تقريباً، ومساندة ببعض القدر من التقويم الكلي. ولكن من المهم أن يكون مفهوماً أن التقويم الكلي لا يمكن أن يزيل عدم الدقة الذاتية المرتبطة بأي أخطار، وهذا يتطلب أن يفهم بوضوح عند وضع خطط إدارة الخطر.

إن أساس تقويم جميع الأخطار هو وضع مجموعة من الأسئلة "ماذا لو"؟ (مثال: ماذا لو فشل الاحتواء؟) والتأكد أن الإجابات وافية وصحيحة ما أمكن، ويتم الحصول على الإجابات بالرجوع إلى الخبرات العملية لأوضاع مماثلة، وحكم الخبراء، ومواصفات التصنيع، ونتائج الاختبارات وغيرها. ويقوم بعد ذلك محلل الخطر بتقدير احتمالات

وعواقب لجميع ظروف التشغيل المتوقعة التي يمكن أن تحدث، ومن ضمنها التشغيل غير النظامي، ويقوم بعمل تقديم المعلومات لتكون ذات فائدة قصوى في اتخاذ القرارات حول وسائل التحكم المناسبة التي ينبغي تبنيها.

وينبغي ملاحظة أن من المهم جدًّا تبني طريقة مناسبة لدرجة التعقيد والوقع المحتمل لكل حالة. فمثلاً إن من غير الضروري وغير المناسب تطبيق التقنيات المعقدة لاحتمالات الخطر المستخدمة لأخطار المفاعلات النووية على الحالات الواضحة لأخطار مشغل صناديق القفازات في مختبر إشعاعي ـ كميائي.

ومع هذا ـ حتى في هذه الحالة البسيطة نسبيًّا ـ ينبغي إعطاء اعتبار دقيق للأمور الآتية؛ لكي يعدّ تقويم الخطر مناسباً وكافياً:

- طبيعة ومقدار مصادر الإشعاع المؤين التي ستستخدم أو يحتمل أن توجد.
- طبيعة العمل الذي سيجرى.
- نتائج أي قياسات للجرع الشخصية أو مسح إشعاعي سابق ذو علاقة بالعمل المقترح.
- تقدير معدلات الجرع التي قد يتعرض لها أي شخص نتيجة العملية.
- احتمال حصول تلوث وانتشاره.
- تقدير مستويات التلوث الهوائي وتلوث السطح.
- التحكم في الدخول إلى منطقة العمل.
- أي إجراءات تحكم موجودة حالياً.
- وجود وكفاءة معدات الحماية الإشعاعية.
- أوضاع الحوادث الممكنة ومدى احتمال حدوثها ومدى شدتها (الإراقة، فشل إجراءات التحكم مثل إقفال الأمان، ودولاب الأبخرة، وأنظمة التهوية، وغيرها).

وعند استكمالها، فإن مثل هذا التقويم المسبق للخطر ينبغي أن يوفر الأساس في اتخاذ القرارات عن كيفية **إدارة الخطر** والتأكد أنها عملت أقل ما يمكن الحصول عليه بشكل مقبول (ALARA).

لإلقاء الضوء على كيفية تقويم الخطر؛ من المفيد الرجوع إلى مثال الاختبار اللصافي الموضح في شكل (13-1) حتى يمكن الاستفادة من "الزمن الحقيقي" للاختبار اللصافي الذي يعطي صورة متحركة للجزء المفحوص في المريض ينبغي استمرار الحزمة (حزمة الأشعة) مدة ملحوظة (مثلاً مدة 30 ثانية ) أو أكثر. إن من الضروري تعريض المريض لجرعة كبيرة فعلاً (مثلاً 10- 20 ملي سيفرت/ دقيقة) للحصول على تشخيص صحيح، ولكن ليس من المقبول البتة أن يتعرض طبيب الأشعة لمثل هذه المعدلات المرتفعة من الجرع؛ لأنه قد يُجري اختبارات عدة يوميًّا، لهذا ينبغي على مصممي الأجهزة التأكد أن سمك الشاشة، وكمية حواجز الرصاص الموضوعة حول الشاشة كافية لتقليل معدل الجرعة للمشغل إلى المستوى المقبول، شريطة أن يكون الطبيب باقياً خلف الشاشة أو الحواجز طوال مدة تشغيل حزمة الأشعة السينية. ولكن ينبغي ألا يقف المصمم عند هذا الحدّ فحسب، بل ينبغي عليه أن يسأل نفسه كيف يمكن للمشغل أن يبطل هذه الاحتياطات الأساسية، فمثلاً ينبغي أن يسأل: "ماذا لو تطلب الأمر من المشغل أن يتحرك من خلف الشاشة لتشغيل الحزمة أو إطفائها، أو لتغيير موضع المريض؟ "ماذا لو نسي المشغل إطفاء الحزمة قبل أن يغادر من خلف الشاشة؟ ينبغي للمصمم ـ ما أمكن ـ أن يزيل هذه الاحتمالات بتصميم الجهاز، ولكن عندما لا يكون هذا عمليًّا؛ ينبغي توفير تعليمات محددة للتشغيل وتوجيهات للتأكد أن تعرض كل من المشغل والمريض هو أقل ما يمكن الحصول عمليًّا (ALARA).

يرجع إلى المبحث (13-3-2) في الفصل 13 للاطلاع على المؤشرات لبعض الاحتياطات التي تتخذ عادة للتقليل من الأخطار خلال الاختبارات اللصافية.

**مثال 14-1:**

إشارة إلى إجراء الاختبار اللصافي الموضح في شكل (13-1) اكتب ثلاثة أسئلة على الأقل "ماذا لو؟" تساعد على تقويم أخطار الحوادث الممكنة التي قد تقع عند إجراء الاختبار. ووضح نوعيًّا كيف تسلك في تقويم حجم هذه الأخطار؟.

## 14-6 تشريعات ذات علاقة بالمملكة المتحدة:

هناك تشريعات عدة أخرى في المملكة المتحدة لها تأثير على الحماية الإشعاعية (جدول 14-1) ومن التشريعات ذات الأهمية الخاصة مرسوم الحماية الإشعاعية الذي أنشأه المجلس الوطني للحماية الإشعاعية (NRPB).

**جدول (14-1) مختصر أنظمة المملكة المتحدة**

| النظام | النصوص الهامة |
|---|---|
| مرسوم الطاقة الذرية (1946م) | النهوض والتحكم في تطوير الطاقة الذرية. |
| مرسوم المواد المشعة (1948م) | التحكم في المواد المشعة وأدوات الإشعاع. |
| مرسوم المواد المشعة (1993م) | أنظمة عن كيفية حفظ المواد المشعة واستخدامها، وكيفية التخلص من المخلفات المشعة. |
| مرسوم المنشآت النووية (1965-1969م) | تكوين المجلس الوطني للحماية الإشعاعية واللجنة الاستشارية لتقديم خدمات وطنية منوعة في مجال الحماية الإشعاعية. |
| مرسوم الصحة والسلامة في العمل وغيره (1974م) | تكوين هيئة الصحة والسلامة، والمجلس التنفيذي للصحة والسلامة؛ لأداء الأنظمة المتعلقة بصحة العمال وسلامتهم، وكذا سلامة الأشخاص الآخرين الذين قد يكونون عرضة للخطر نتيجة أنشطة العمال. |
| أنظمة الإشعاع المؤين (1999م) | إن الرزمة المنظمة تحوي أنظمة وقوانين للعمل مصرحًا بها إضافة إلى ملاحظات توجيهية مفصلة. |

## 14-7 مختصر للأدلة والأنظمة الدولية في دول أخرى:

نوقش في المبحث (14 - 3) توجيه الاتحاد الأوروبي عن الحماية الإشعاعية، وهذا التوجيه يضع المعايير الأساسية لحماية العاملين والمواطنين من الأخطار الناشئة من الإشعاع المؤين في الدول الأعضاء، وهو ملزم لها للوصول إلى النتائج المطلوب تحقيقها، فمعاهدة الجماعة الأوروبية للطاقة الذرية تتطلب من الدول الأعضاء كذلك عمل الاستعدادات المناسبة للتأكد من الالتزام بالمعايير الأساسية، ومطلوب منها كذلك إبلاغ الاتحاد بهذه الاستعدادات؛ لغرض الوصول إلى التناغم بين دول الاتحاد في هذه الاستعدادات.

ومن المنظمات الدولية الأخرى التي تقوم بأعمال على المستوى العالمي لوضع معايير للحماية الإشعاعية ما يلي:

**الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية** (ICRP): (انظر الفصل 6)

**الوكالة الدولية للطاقة الذرية** (IAEA): تقوم بإعداد معايير أساسية حول الحماية الإشعاعية بالتعاون مع المنظمات الدولية الأخرى (وحكومات الدول الأعضاء مدعوة لاستخدام هذه المعايير في وضع تشريعاتها الوطنية عن الحماية الإشعاعية). وقد قامت الوكالة إضافة إلى ذلك بنشر دراسات الخبراء على شكل قوانين تطبيقية، تغطي توجيهات عملية للسلامة في تطبيقات محددة.

**منظمة الصحة العالمية** (WHO): قد نشرت تقارير عدة متعلقة بالحماية الإشعاعية، وتعاونت مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومع منظمات أخرى لعمل توجيهات عدة عن حماية المواطنين والعاملين من الأخطار النووية، ولكن المنظمة لم تنشر أي أنظمة في هذا المضمار.

**منظمة العمال العالمية** (ILO): تبنت عام 1960م اتفاقاً عن حماية العاملين من الإشعاع المؤين، وعام 1963م نشرت موجزاً للحماية الإشعاعية في الصناعة يحوي قوانين نموذجية للأنظمة المختصة بالإشعاع المؤين، ونشرت توجيهات عدة في مجالات محددة.

**وكالة الطاقة الذرية (NEA) في منظمة التعاون والتطور الاقتصادي (OECD)**: تنشر قوانين عن الحماية الإشعاعية من وقت لآخر، وهذه القوانين مبنية على توصيات الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية، وتراجع بشكل دوري للأخذ في الحسبان آخر توصيات للهيئة، وقد قامت الوكالة كذلك بتمويل أو الاشتراك في إعداد عدد من الدراسات في مجال السلامة الإشعاعية، وتتعاون مع المنظمات الدولية الأخرى في وضع معايير السلامة.

والتشريعات والأنظمة المتعلقة بالحماية الإشعاعية في الدول متشعبة ومعقدة جدًّا؛ ومحاولة مناقشتها هنا خارجة عن نطاق الكتاب، وعلى القراء الراغبين في متابعة هذا الموضوع العودة إلى المراجع المختصة، وسنذكر هنا مختصراً لآخر الأنظمة في أربع دول نووية رئيسة هي: فرنسا وألمانيا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية:

### 14-7-1 فرنسا:

ملتزمة بمتطلبات التوجيه الأساسي لمعايير السلامة بوصفها عضواً في الاتحاد الأوروبي، وذلك من خلال عدد من المراسيم والمذكرات الوزارية، والوزراء الذين لهم علاقة رئيسة بالحماية الإشعاعية هم:

- وزير العلوم والتطوير الصناعي: مسؤول عن الطاقة الذرية، ويشمل نطاق سلطته هيئة الطاقة الذرية.
- وزير الصحة العامة والأمن الاجتماعي: مهمته الحفاظ على الصحة، والتأكد من صحة الشعب وسلامته، وهو الذي يتحكم في قسم التقنية المتخصصة، ومركز الخدمات للحماية من الإشعاع المؤين.
- وزير البيئة مسؤول عن المنشآت المصنفة (المحظور اطلاع الجمهور عليها).

### 14-7-2 ألمانيا:

نظراً لعدم وضوح القانون الأساسي (Grundgesetz) في تغطيته كل أمور القانون النووي فقد مُرِّر عام 1959م مرسوم خاص مكمل للقانون الأساسي لهذا الغرض، ومعظم الأنشطة المتعلقة بالطاقة الذرية تعالج بتشريع الاتحاد: وحقوق التشريع متروكة لكل ولاية من ولايات ألمانيا المتحدة، ولا يوجد إلى الآن تشريع اتحادي في هذا المضمار، ولا يوجد في ألمانيا جهة مركزية واحدة منوط بها جميع المسؤوليات التنفيذية المتعلقة بالطاقة النووية، وهناك صلاحيات إشراف وترخيص معطاة إما للاتحاد أو لوكلاء الأرض، وذلك لما هو أنسب منهما. والأنظمة المتعلقة بحماية صحة عموم المواطنين وسلامتهم، والأشخاص العاملين الذين هم عرضة لأخطار الإشعاع؛ مبسوطة في المرسوم الأول في الحماية من مخاطر الإشعاع والمرسوم الثاني في الحماية من الأخطار الناتجة من الإشعاع المؤين في المدارس وكلاهما تحت مرسوم الطاقة الذرية لعام 1959م.

### 14-7-3 اليابان:

التحكم في الطاقة الذرية في اليابان مركزي إلى حد كبير، وعموماً فإن السُّلطات المسؤولة عن ترخيص الأنشطة النووية والحماية الإشعاعية تقع تحت المسؤولية المباشرة لمكتب رئيس الوزراء. ومرسوم الطاقة الذرية لعام 1955م بسط الأسس الرئيسة التي تحكم الحماية من أخطار الإشعاع، ويوجد تحت هذا المرسوم "قانون المنع" أيضاً الذي يهدف ـ وبشكل رئيس ـ إلى سلامة المواطنين من أخطار الإشعاع التي يمكن أن تنتج من النظائر المشعة والمعدات المولدة للإشعاع المؤين، فالأمور التي هي تحت المسؤولية المباشرة لمكتب رئيس الوزراء هي:

- هيئة الطاقة الذرية المسؤولة عن إعداد واختبار واتخاذ القرارات المناسبة في الأمور، مثل القواعد الأساسية للحماية من أخطار الإشعاع.
- وكالة العلوم والتقنية (STA) التي تقدم عوناً إداريًّا لهيئة الطاقة الذرية.

- مجلس الإشعاع: وهو جهة مختصة تضع المعايير المتعلقة بالحماية الإشعاعية والمستوى الإشعاعي.

### 14-7-4 الولايات المتحدة الأمريكية:

"الهيئة النووية المنظمة" في الولايات المتحدة الأمريكية عليها المسؤولية الرئيسة في الأمور المتعلقة بالطاقة الذرية واستخدام المواد المشعة، والمتطلبات التفصيلية مبسوطة في قوانين الأنظمة الاتحادية المسمى 10 طاقة ويعرف بـ(IOCER) والجزء 20 يشتمل على حدود الجرعات المسموح بها ومستويات النشاط الإشعاعي في النفايات المشعة.

ووكالة حماية البيئة (EPA) هي المسؤولة عن التأثيرات البيئية للطاقة الذرية حسب ما هو منصوص عليه في المرسوم الوطني لسياسة البيئة لعام 1969م.

obeikandl.com

## خلاصة الفصل:

**الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية** (ICRP): منظمة علمية غير حكومية تنشر توصيات عن الحماية من الإشعاع المؤين. وأحدث نشرة لها رقم 60 (1999م).

**التوجه الأساسي لمعايير السلامة:** يضع المعايير للحماية الإشعاعية للعاملين وعموم الناس التي يجب تطبيقها في الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي (EU). وأحدث توجيه تم تبنيه عام 1996م.

**أنظمة الإشعاع المؤين** (1991): حولت معظم متطلبات التوجيه الأساسي لمعايير السلامة إلى قوانين في المملكة المتحدة، وملحق بها مجموعة قوانين للعمل موافق عليها مع توجيهات توضيحية.

## أسئلة مراجعة:

(1) ناقش دور الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) في أنظمة الإشعاع المؤين، وعلّل سبب الحاجة إلى اتخاذ خطوات إضافية لإدخال توصيات الهيئة في إطار الأنظمة الوطنية.

(2) ناقش العلاقة بين التوجيه الأساسي لمعايير السلامة (1996م) وأنظمة الإشعاع المؤين (1999م).

(3) ماذا يعني مصطلح "قيود الجرعة"؟ وضّح ذلك.

(4) ما حدود الجرع المعينة في أنظمة الإشعاع المؤين (1999م) للعاملين ولعموم الناس؟

(5) اذكر باختصار أهم الخطوات الضرورية لعمل تقويم مسبق لأخطار مختبرٍ يتعامل بالإشعاع المؤين.

obeikandl.com

# الفصل الخامس عشر

# تقنية معامل الفيزياء الصحية

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل الخامس عشر

# تقنية معامل الفيزياء الصحية

## 15ـ1 التطبيقات الأساسية:

ستُناقش في هذا الفصل بعض التقنيات الأساسية التي تتطلبها معامل الفيزياء الصحية، ومن ضمنها **الاختبار الإشعاعي** المتعلق بقياس العينات المشعة، ومعايرة أجهزة الفيزياء الصحية.

## 15ـ2 الاختبار الإشعاعي:

### 15-2-1 تحديد هوية العينات المجهولة:

إنّ تقويم العينة المشعة عموماً ـ كورق ترشيح عينة هوائية ـ لا يتطلب قياس النشاط الإشعاعي للعينة فحسب، بل تحديد هوية النويدات المشعة الموجودة فيها. لأن قياسات النشاط الإشعاعي للعينة ليست ممكنة ـ في معظم الحالات ـ دون معرفة ولو جزئية بخصائص النويدة، من ثم نوع وطاقة الإشعاع المنبعث. ولهذا لا بد من تحليل العينة، أو ـ على الأقل ـ اتخاذ بعض التخمينات عن تركيبها، علماً بأنه ليس عملياً أو مهماً تحليل كل عينة مختارة، ففي منطقة محددة تحلل عينات منتقاة، ثم تطبق النتائج نفسها على العينات الأخرى المأخوذة تحت الظروف نفسها، وربما يدخل معامل أمان في ذلك.

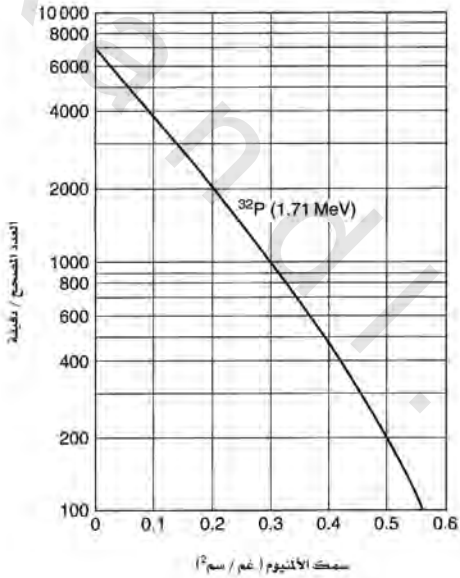
وخصائص النويدة التي قد يكون من الممكن تعيينها لأجل المساعدة في تحديد هويتها، هي نوع الإشعاع المنبعث منها وطاقته، كذلك عمر النصف. أمّا الطرق التي يمكن فيها أخذ هذه القياسات فسيجري وصفها في البنود الآتية.

### 15-2-2 تعيين الطاقة:

يعدّ مطياف جاما ـ الذي وصف في الفصل السابع ـ من أفضل الطرق ملاءمة لتعيين الطاقة، ويمكّن الطيف المشاهد في حالات عدة من النويدات التي غالباً ما نصادفها

على تحديد هوياتها بشكل سريع، ومعرفة نشاطها الإشعاعي. وقد تستخدم تقنيات مشابهة لمشعات ألفا وبيتا، ولكن مثل هذه الأجهزة ليست متوافرة إلى حد ما.

إذا كانت النويدة مجرد باعثة لبيتا، أو أن الجهاز المتوافر لا يحتوي على مطياف جاما، فلا بد من التعويل على طرق امتصاص بيتا، حيث يستلزم عدّ العينة في جهاز عدّ بيتا (أي معقل عداد جايجر ـ مويلر موضوع في قلعة محجوزة)، ثم فحص معدل العدّ باستعمال قطع ألمنيوم بأسماكٍ مختلفة توضع بين العينة والكشاف، ومن ثم يتم الحصول على خط الامتصاص البياني برسم معدل العد مقابل سمك الامتصاص، ويرسم عادة على ورق خطوط بيانية (من نوع لوغ ـ مستقيم)، (انظر الشكل 15-1).




شكل (15-1) الخط البياني المثالي لامتصاص بيتا

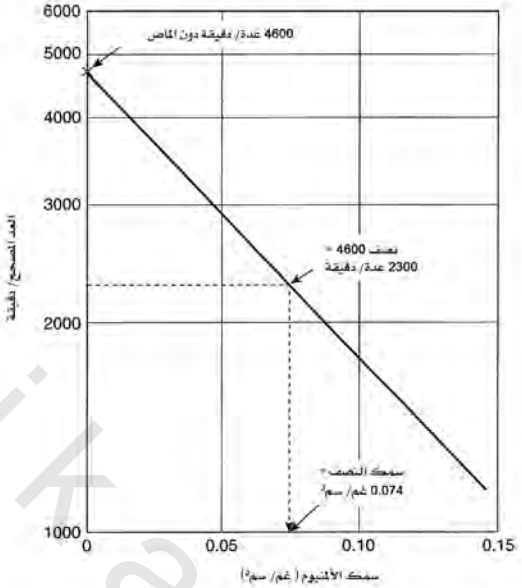
إن أساس هذه الطريقة هو أن إشعاع بيتا ذا الطاقة المنخفضة يمتص بسهولة أكثر من الإشعاع ذي الطاقة العالية؛ لذا فعند مقارنة خط الامتصاص البياني مع خطوط امتصاص بيتا البيانية ذات الطاقة المعروفة، يمكن تخمين طاقة بيتا في العينة. أما الطريقة المثلى في تعيين

طاقة بيتا فهي (طريقة فيذر) [Feather's Method] الموصوفة تفصيلاً في كتاب [Experimental Nucleonics] لمؤلفه ب. براون [B. Brown] لمن يرغب في الرجوع إليه.

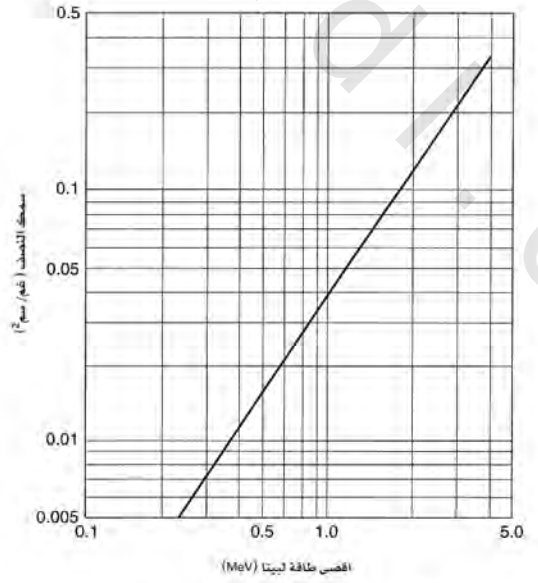
وهنالك طريقة أبسط ولكنها أقل دقة، وتتم بأخذ سلسلة من العدّات عند زيادة سمك الامتصاص حتى ينخفض إلى نحو ربع القيمة الابتدائية، ثم ترسم القيمة المصححة لمعدل العد (انظر المبحثين (15-2-4) و(15-2-5) مع سمك الامتصاص، ثم يقرأ السمك الذي عنده انخفض معدل العد إلى نصف قيمته الأصلية على الإحداثي السيني، وهذا يعني بالذات سمك النصف لطاقة بيتا. ومثال على هذه الطريقة ما يشير إليه الشكل (15-2) حيث يعبر عن سمك الألمنيوم بوحدات غم/ سم$^2$. وقد تم الحصول على ذلك بضرب سمك الألمنيوم (سم) بكثافته (غم/ سم$^3$) لتصبح وحدات الناتج غم/ سم$^2$.

إن العلاقة بين أقصى طاقة لجسيم بيتا وسمك النصف يوضحها الشكل (15- 3). الذي يوضح أن سمك النصف 0.074 غم/ سم$^2$ تكون طاقة بيتا من الشكل (15- 3) نحو 1.4 مليون إلكترون فولت.

ولا بد من الإشارة إلى أن مثل هذا التحديد ليس دائماً سهلاً ، إذ إن العينات ـ من الناحية العملية ـ غالباً ما تحتوي على أكثر من نويدة، ومن ثم وجود طاقات عدة لأشعة بيتا. وحتى على افتراض تعيين طاقة بيتا، فإنه من المحتمل عدم ملاءمتها ـ بشكل إيجابي ـ لتحديد هوية النويدة المشعة، بل ربما يحتاج إلى مزيد من القرائن ـ في بعض الحالات ـ بقياس عمر نصف النويدة.




شكل (15-2) تعيين سمك النصف لباعث بيتا




شكل (15- 3) العلاقة بين سمك النصف وأقصى طاقة لإشعاع بيتا

### 15- 2- 3 تعيين عمر النصف:

لقد تم تقديم فكرة عمر النصف للنويدات المشعة في الفصل الثاني، ويمكن استرجاعها بالقول: إنّ إشعاعية العينة في زمن مقداره (t) يمكن معرفته بالمعادلة:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

$A_0$ = النشاط الإشعاعي الابتدائي.

$\lambda$ = ثابت الاضمحلال الإشعاعي للنويدة.

$A_t$ = النشاط الإشعاعي عند الزمن (t).

أما عمر النصف ( $T_{\frac{1}{2}}$ )، فهو الزمن اللازم كي تبلغ $A_t$ نصف قيمة $A_0$ ، ولهذا فإن:

$$\frac{A_t}{A_0} = 0.5 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$Log_e(0.5) = -\lambda T_{1/2}$$

$$-0.693 = -\lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = 0.693 / \lambda$$

أو $\lambda = 0.693 / T_{1/2}$

ويمكن كتابة قانون الاضمحلال الإشعاعي بالشكل البديل الآتي:

$$A_t = A_0 e^{-0.693/T_{1/2}}$$

في حالة النويدات التي لها أعمار نصف تتراوح ما بين بضع دقائق وبضعة شهور، يمكن تعيين عمر نصفها بأخذ سلسلة من العدّات للعينة في مدد ملائمة (كأن يقل معدل

العدات بمقدار 10- 15٪ بين كل عملية عد). ثم يرسم معدل العدّ المصحح مقابل الزمن على ورق بياني من نوع (لوغ ـ مستقيم) حيث يعطي خطًّا مستقيماً. والزمن الذي يقلل معدل العدّ إلى نصف قيمته الأصلية يمكن قراءته من الخط البياني.

**مثال 1 :**

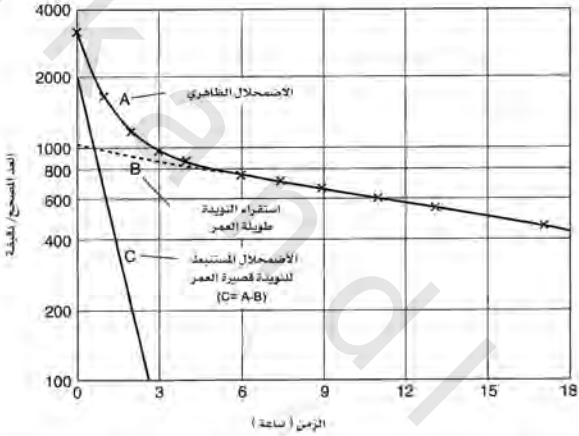
باستخدام ورق (لوغ ـ مستقيم) البياني، ارسم خط الاضمحلال البياني من خلال المعلومات الآتية، ثمّ قدِّر عمر النصف للنويدة.

| الزمن (ساعة) | صفر | 2 | 4 | 8 | 12 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| معدل العد (عدة/ثا) | 6720 | 6050 | 5690 | 4563 | 3930 | 2989 |

يظهر من الرسم أن معدل العد يقل إلى نصف قيمته الأصلية (أي 3360 عدة/ ثا) في نحو 15,4 ساعة، وهذه العينة المستعملة لمعرفة هذه النتائج نفسها هي التي استخدمت لمعرفة خط الامتصاص البياني في شكل (15- 2). وأصبح معروفاً الآن أن النويدة تشع جسيمات بيتا بطاقة أقصاها 1.4 مليون. إلكترون فولت، وتضمحل بعمر نصف قدره 15,4 ساعة. بل وأصبح ممكناً الآن تحديد هوية النويدة وفق عمر النصف أو طاقة جسيمات بيتا، إذن فالنويدة الموجودة في العينة هي في الحقيقة الصوديوم- 24(24Na)، حيث أقصى طاقة لجسيم بيتا 1.39 مليون إلكترون فولت، وعمر النصف 15.4 ساعة.

وهكذا الأمر في قياسات امتصاص بيتا، حيث تكون الخطوات أكثر صعوبة من الناحية العملية بسبب وجود أكثر من نويدة، وهذا ما يوضحه الشكل (15-4)، الذي يبين مرة أخرى خط الاضمحلال للصوديوم - 24، مع وجود نويدة قصيرة العمر هذه المرة أيضًا، وبعد اضمحلال ابتدائي حاد نسبيًّا يتناقص معدل الاضمحلال، ثم يعطي أخيراً خطًّا مستقيماً.

يمكن الحصول على مساهمة النويدة الطويلة العمر بمعدل العدّ الابتدائي باستقراء الخط المستقيم حتى الوصول إلى الزمن الصفري. ويمكن إذن معرفة عمر النصف لهذه النويدة كما مر سابقاً. ولأجل معرفة عمر النصف للجزء القصير العمر، من المهم طرح القيم المستنبطة لمعدل العد بالنسبة إلى النويدة طويلة العمر من معدل العدّ الظاهر (أي الفرق بين الخط البياني والخط المستقيم)، ويعطي هذا العمل خط الاضمحلال للنويدة قصيرة العمر، ومن ثم يمكن تعيين عمر النصف. وفي الشكل (15-4) يظهر أن النويدة قصيرة العمر ما هي إلا الكلور- 38 ذو عمر النصف الذي قدره 37.3 دقيقة.




شكل (15- 4) خط الاضمحلال البياني لخليط الكلور ($^{38}Cl$) والصوديوم ($^{24}Na$)

## 15- 2- 4 تعيين النشاط الإشعاعي للعينة:

تعتمد ظروف القياس المستعملة في الاختبار الإشعاعي لعيّنات إشعاعية خاصة على جملة عوامل متنوعة، منها:

(1) النشاط الإشعاعي للعينة.

(2) عمر النصف للعينة.

(3) الدقة المطلوبة.

(4) الإشعاعات المنبعثة عن العينة.

من الأهمية بمكان ـ عموماً ـ استعمال جهاز عد شديد الحساسية يحتوي على كاشف إشعاع، ومصدر للجهد العالي المستقر، ومكبر، ومميز، وعداد يسجل النبضات الواردة (نوقشت التراكيب الأساسية لأجهزة العد في الفصل السابع)، ويغلف الكاشف غالباً بمعقل (تحصين) لتقليل عدد العدات الناتجة من أشعة جاما الأساسية الموجودة أصلاً في المختبر.. ويجب تصحيح العدات المسجلة على العداد وفق الإشعاع الأساسي، وربما يتطلب تصحيحها وفق زمن التبيّن للعدات، وقد يكون من المهم أيضاً حساب الخطأ الإحصائي المناسب.

يمكن ـ في بعض الحالات ـ مراقبة عينة إشعاعية رقيقة جدًّا توضع في قلب الحيّز الحساس للكاشف، ثم تعد كل الجسيمات أو الفوتونات المنبعثة عنها، ويسمى هذا العد الهندسي 4 ط، بينما في أكثر أجهزة العد الشائعة هناك نسبة فقط من الجسيمات الصادرة أو الفوتونات يمكن أن تدخل الكاشف، ونسبة الجسيمات المحسوبة بالنسبة إلى ما ينبعث كليًّا تسمى كفاءة جهاز العد.

تعيّن كفاءة جهاز العد ـ عادة ـ بوضع مصدر معلوم الإشعاع في مكان عد ملائم، ثم يحسب عدد العدات المسجلة في زمن معين، ثم يقسم هذا الرقم على معدل الانبعاث من المصدر لمعرفة كفاءة العد، ومن المعتاد ضرب الناتج في مئة؛ للتعبير عنه بنسبة مئوية.

**مثال 2:**

مصدر معلوم ذو إشعاع 220 بيكريل يعطي عدات غير مصححة قدرها 2045 عدة/ دقيقة في معقل جايجر ـ مويلر حيث العد الأساسي 65 عدة/ دقيقة فما هي كفاءة الجهاز؟

$$\text{الكفاءة } \% = \frac{\text{العدات المصححة/ دقيقة}}{\text{معدل انبعاث المصدر (تحلل/ دقيقة)}} \times 100\%$$

معدل العد المصحح= 2045– 65 = 1980 عدة/ دقيقة.

والآن 220 بيكريل تقابل $1.32 \times 10^4$ = تحلل/ دقيقة.

$$\therefore \text{الكفاءة} = \frac{100 \times 1980}{1.32 \times 10^4} = 15\%$$

**مثال 3:**

احسب النشاط الإشعاعي لمصدر يعطي قيمة غير مصححة لمعدل العد قدرها 4925 عدة/ دقيقة في الجهاز الذي أشير إليه في السؤال السابق.

(الجواب: 540 بيكريل).

عند استثناء هندسة جهاز العد، فهناك عوامل عدة تؤثر على كفاءة العد، ومن ضمنها، المستطار الخلفي (backscatter)، والامتصاص الذاتي للمصدر (self-absorption)، والامتصاص في شباك العداد (absorption in the counter window)، والامتصاص في الجيب الهوائي بين المصدر والكشاف (absorption in the air-gap between source and detector)، وتعتمد جميعها ـ إلى حد ما ـ على طاقة الإشعاع.

يجب معايرة الجهاز ـ بشكل مثالي ـ وفق مصدر للنويدة نفسها، وله هندسة العينة نفسها التي سيجري عدها، وعادة لا يتطلب التقويم للعينات في أغراض الفيزياء الصحية درجة عالية من الدقة، فمن المعتاد معايرة الجهاز بأحد المصادر المعلومة، ثم استعمال المعايرة نفسها لأغلب العينات. ومن المهم الانتباه إلى أن بعض النويدات ـ وخصوصاً باعثات بيتا الواطئة الطاقة ـ يمكن أن يكون تقديرها أقلّ من التخمين الصحيح بشكل كبير؛ إذا ما حسبت وفق هذه الخطوات.

### 15- 2- 5 تصحيحات زمن التبيّن (resolving time):

عندما يحدث الفوتون أو الجسيم المشحون تفاعلاً في حيز الكاشف الحساس فهناك مدة قصيرة (بحدود 100 مايكرو ثانية عادة) لا يمكن خلالها تسجيل أي إشعاع، وتسمى هذه المدة زمن التبيّن للأجهزة، وما هو إلا الزمن اللازم لجمع الأيونات ويسمى أحياناً بزمن الهمود؛ لأن الكاشف لا يستطيع خلال هذا الوقت الاستجابة لأي حدث. ومن الأسهل في كثير من "أجهزة العد" إدخال زمن همود (dead time) ثابت لأي جهاز، بدلاً من تعيين زمن الهمود الحقيقي تجريبيًّا، وذلك لأن زمن الهمود الصناعي يعتمد على عوامل معلومة في الدائرة الكهربائية؛ لذا فله قيمة معرّفة بدقة.

لنفترض أن دائرة كهربائية زمن الهمود فيها 200 مايكرو ثانية، ولنفترض أنها تستعمل لعد عينة تعطي معدل عد ظاهري قدره 500 عدة/ ثانية، فعند تسجيل 500 عدة في ثانية واحدة ينغلق العداد مدة 200 مايكرو ثانية بعد كل عدة، أي إنه يصبح معطلاً مدة (500×200) مايكرو ثانية (100,000 مايكرو ثانية = 0.1 ثانية). ولهذا فإن 500 عدة قد سجلت في زمن عد قدره 0.9 ثانية فقط، وإن معدل العد الحقيقي هو:

$$\frac{500}{0.9} = 555 \text{ عد/ ثانية، ويمكن كتابة هذا رياضيًّا.}$$

$$\text{عـح} = \frac{\text{عظ}}{1 - \text{عظ ن}}$$

حيث: عـح = معدل العد الحقيقي.

عـظ = معدل العد الظاهري.

ن = زمن الهمـود.

ولا بد من العناية بالوحدات في هذه المعادلة، فإذا كانت كل من عـح وعـظ مقيسة بالعدة/ ثانية فإن (ن) يجب أن تكون بالثواني (200 مايكرو ثانية = 200 × $10^{-6}$ ثانية)، ولا

ينصح بتطبيق تصحيحات زمن همود إذا كانت تزيد على 10٪ بكثير؛ لذا فعندما يكون معدل العد عالياً جدًّا، فمن المستحسن تقليله بتغيير الترتيب الهندسي للجهاز والعينة.

**مثال 4:**

احسب معدل العد الحقيقي لعينة، إذا كان معدل العد الظاهري 15,000 عدة/ دقيقة، وكان زمن الهمود 300 مايكرو ثانية.

(الجواب: 16216 عدة/ دقيقة).

## 15- 2- 6 الإحصاء العدي:

يتم التحلل الإشعاعي عشوائيًّا للذرات المنفردة بالنسبة إلى الزمن، ولهذا فإن عدد الفوتونات أو الجسيمات المحسوبة في زمن ما يتذبذب حول قيمة متوسطة له، **والانحراف القياسي(ق)** ما هو إلا قياس تناثر مجموعة مشاهدات حول القيمة المتوسطة، فإذا كان معدل عدد كبير من العدات ـ في جهاز العد ـ ( $\overline{ع}$ )، فيمكن معرفة الانحراف القياسي بالعلاقة:

لذا فلو أن: $\overline{ع}$ = 400 عدة، فإن ق = $\sqrt{400}$ = 20.

إذا ما أجري عد واحد منفرد خلال زمن (ن)، وكانت العدات المسجلة (ع)، فإن الانحراف القياسي للعد سيتخذ القيمة ($\sqrt{ع}$). وفي العادة فمعدل العد الذي هو مجال الاهتمام، يمكن كتابته كالآتي:

$$\text{معدل العد} = \frac{ع}{ن} \pm \frac{\sqrt{ع}}{ن}$$

**مثال 5**

يعطي تعداد مدة 5 ثوانٍ على عينة ناتجاً قدره 100 عدة، فما معدل العد؟ وما الانحراف القياسي؟

معدل العد = $\frac{100}{5} \pm \frac{\sqrt{100}}{5}$ = 20 ± 2 عدة/ ثانية.

إن أهمية الانحراف القياسي هو أن 68٪ من المشاهدات تقع ضمن انحراف قياسي واحد لمعدل العد الحقيقي. لذا ففي المثال الآنف الذكر هناك 68٪ احتمالاً في وقوع معدل العد ما بين 18 إلى 22 عدة/ ثانية وعلى هذا، فالانحراف القياسي هو قياس دقة المشاهدة (الفحص). ويمكن الحصول على دقة عالية في العد بزيادة الزمن الكلي للعد ليس إلا. أمّا في المثال السابق، فإذا ما سجلت 1000 عدة في 50 ثانية فإن:

معدل العد = $\frac{1000}{50} \pm \frac{\sqrt{1000}}{50}$ = 20 ± $\frac{31.6}{50}$

= 20 ± 0.63 عدة/ ثانية.

أما لو سجلت 10,000 عدة في 500 ثانية فإن:

معدل العد = $\frac{10,000}{500} \pm \frac{\sqrt{10.000}}{500}$ = 20 ± $\frac{10,000}{500}$

= 20 ± 0.2 عدة/ ثانية.

ويلاحظ أنه على الرغم من أن معدل العد هو نفسه في الحالات الثلاث، إلا أن الدقة قد تحسنت في حالة العد ذي المدة الأطول.

ويمكن التعبير عن الانحراف القياسي بالنسبة المئوية في الأمثلة على العدات 100 و1000 و10.000 كالآتي:

ع = 100 ، ق = 10 = 10 ٪

ع = 1000 ، ق = 31.16 = 3.16 ٪

ع = 10,000 ، ق = 100 = 1 ٪

ومن أجل الحصول على عد (أو معدل عد) بدقة انحراف قياسي قدره 1٪، فيجب أن تكون مدة العد طويلة إلى حد تعطي على الأقل 10,000 عدة. نحن نريد -في العادة- معرفة معدل العد (مص) عن المصدر والمركوم فوق معدل العد الأساسي، فإذا ما كان عدد العدات (ع) قد سجل في زمن قدره ن1 لكل من المصدر وللعد الأساسي، وأن العدات الأساسية (عس) قد تم تسجيلها في الزمن ن2، فإن معدل العد المصحح (مص) يحسب من المعادلة:

$$\text{مص} = \frac{\text{ع}}{\text{ن}_1} - \frac{\text{عس}}{\text{ن}_2} \pm \text{ق}_{\text{مص}}$$

$$\text{حيث } \text{ق}_{\text{مص}} = \sqrt{\text{ق}_1^2 + \text{ق}_2^2}$$

$$= \sqrt{\frac{\text{ع}}{\text{ن}_1^2} + \frac{\text{عس}}{\text{ن}_2^2}}$$

والتعبير العام عن مثل هذا النوع من القياسات يصبح:

$$\text{مص} = \frac{\text{ع}}{\text{ن}_1} - \frac{\text{عس}}{\text{ن}_2} \pm \sqrt{\frac{\text{ع}}{\text{ن}_1^2} + \frac{\text{عس}}{\text{ن}_2^2}}$$

**مثال 6:**

يسجل مصدر في معقل جايجر- مويلر 6720 عدة في (4) ثوانٍ، ويعطي الأساسي فيما بعد 480 عدة مدة (10) ثوانٍ، فما هو معدل العد الصحيح؟ وما مقدار الانحراف القياسي؟

الحل:

$$\text{مص} = \frac{480}{10} - \frac{6720}{4} \pm \sqrt{\left(\frac{480}{100} + \frac{6720}{16}\right)}$$

$$= -1680 - 48 \pm \sqrt{420 \times 4.8}$$

$$= -1632 \pm \sqrt{424.8}$$

$$= -1632 \pm 20.6 \text{ عدة/ثانية.}$$

إذا كان العد لمصدر منخفض النشاط الإشعاعي جدًّا، فقد يتطلب مدد عد طويلة جدًّا لإنجاز دقة إحصائية مقبولة. ومن المرغوب فيه -تحت هذه الظروف- توزيع الوقت بكفاءة ما بين (المصدر والأساسي) والأساسي وحده، وأعلى دقة يمكن إنجازها تحسب بالعلاقة.

$$\text{ك} = \sqrt{\frac{\text{ن}_1}{\text{ن}_2}}$$

حيث: $\text{ن}_1$ = الزمن اللازم لعد (المصدر + الأساسي).

$\text{ن}_2$ = الزمن اللازم لعد الأساسي.

ك = النسبة بين معدل العد الكلي (المصدر + الأساسي) ومعدل العد الأساسي.

وغالباً ما يكون جديراً بالاهتمام ـ عند مواجهة عينة مجهولة النشاط الإشعاعي ـ القيام بفحص أولي لمعدل العد المتوقع. ويستلزم هذا عدًّا قصيراً للمصدر والأساسي بعد عد الأساسي، ويتم كلا العدين خلال دقيقة أو دقيقتين، ومن هذه النتائج تتعين معدلات العد المتوقعة بشكل تقريبي، ثم يحسب طول توزيع الزمن اللازم للحساب الدقيق للعينة.

**مثال 7:**

إذا كان معدل العد الكلي (المصدر+ الأساسي) 360 عدة/ دقيقة، ومعدل العد الأساسي 40 عدة/ دقيقة، فما نسبة الزمن الكلي الذي يجب بذله لعد الأساسي؟

( **الجواب:** 25٪ )

## 15ـ3 معايرة مراقب الإشعاع:

### 15- 3-1 عموميات:

والجهة المصنعة للجهاز هي المسؤولة –عادة– عن إجراء خطوات المعايرة التفصيلية قبل تسليمه إلى المستهلك. وتجري مراجعة فحص الأمور الآتية:

(1) حساسية الجهاز تحت ظروف العمل الاعتيادية.

(2) استجابة الطاقة.

(3) استجابة المعدل.

(4) تغيرات درجة الحرارة.

في الفصل الثامن من هذا الكتاب تمت الإشارة إلى أهمية تقويم استجابة الطاقة عبر مداها الواسع (الذي يتراوح عادة ما بين 100 كيلو إلكترون فولت وحتى مليون إلكترون فولت). ولو كان للجهاز تدريجات عدة ـ كما هو الحاصل في معظم مقاييس معدلات الجرعة ـ فيجب أن تكون الاستجابة مرضية على جميع التدريجات. أما استجابة درجة الحرارة فليست بالعامل المهم في أجهزة المختبرات، مادام من الممكن دائماً اختيار مركبات لا تتأثر ـ بشكل عملي ـ بتغيرات درجة الحرارة.

وينبغي لمستعمل الجهاز التأكد من أن مواصفاته تقع ضمن المواصفات القياسية، ثم يلي ذلك عدد من فحوصات المراجعة؛ للتأكد من أداء مهمته، وفي هذه الأيام، يتضمن

كثير من الأجهزة بداخلها أدوات لمراجعة الفحص، مثل فحوصات البطارية، وتعديلات الصفر، وفحوصات الحساسية.

وعلى العموم، فإن مستعمل الجهاز يحتاج إلى إعادة النظر إلى الحساسية بشكل دوري، إذ إن هذه الصفة هي التي تتغير غالباً عبر مدة من الزمن.

وهناك طريقان أساسيان لتنفيذ مثل هذه الفحوصات.

(1) المعايرة المباشرة باستعمال مصادر إشعاع قياسية.

(2) المعايرة البينية بجهاز معاير بشكل خاص.

وفي المملكة المتحدة يتطلب إجراء فحوصٍ للأجهزة في مدد لا تتجاوز الأربعة عشر شهراً، ويتم تسجيل النتائج في سجل خاص، وفي الدول الأخرى متطلبات مماثلة.

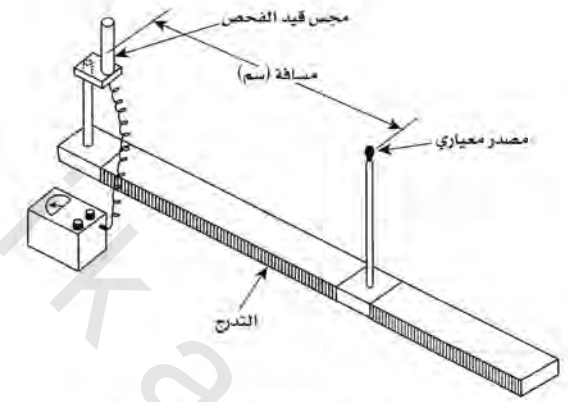
### 15- 3- 2 المعايرة المباشرة:

عندما يراد معايرة أجهزة عدة، فمن الملائم استخدام أداة بسيطة، كما في الشكل (15- 5). وتضمن هذه الأداة أن كلاً من الجهاز والمصدر يحتلان دائماً موقعاً ثابتاً بحيث يحافظان على هندسة معينة. وعلى النقيض من هذا عند معايرة أجهزة عدة يصبح من الضروري عادةً إعداد تجهيزات خاصة للمعايرة يكون التصنيف فيها خاليًا من الغبار (للحصول على أقل استطارة حول المصدر)، والشكل (15-6) تخطيط لأحد هذه التجهيزات، حيث يتحرك الجهاز المراد معايرته على طول زلاقة مواجهة، ويثبت في موقعه عن بعد، وتؤخذ القراءات من خلال نظام مرايا.

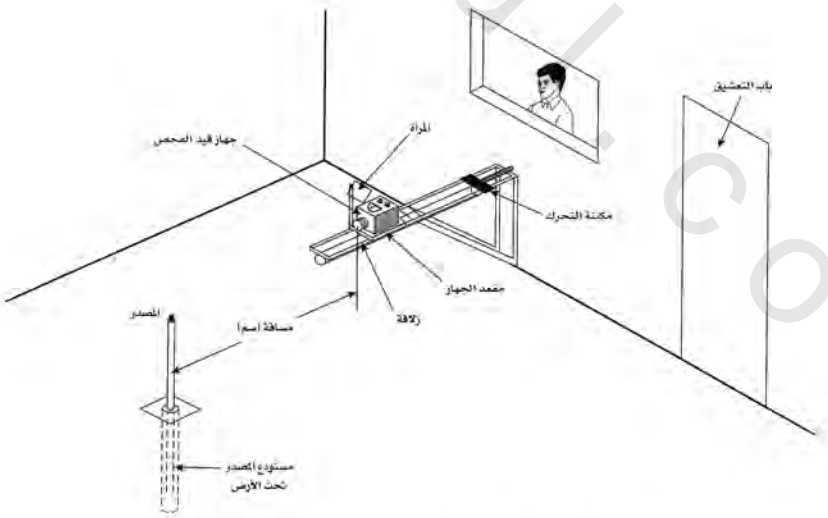
### 15-3-3 المعايرة البينية باستخدام جهاز مخصوص للمعايرة

عندما يتوافر جهاز معاير، فليس مهمًّا وجود تسهيلات الأجهزة المفرغة من الهواء، بل إن المطلوب فقط هو وجود جهاز يسمح بتغيير شدة الإشعاع عبر المدى المطلوب. ومثل هذا الجهاز يوضحه الشكل (15-7)، حيث تتغير شدة الإشعاع بتغيير موقع

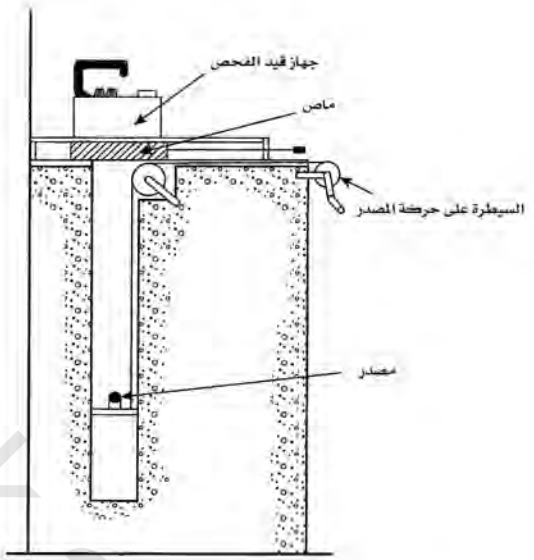
المصدر. يقاس معدل الجرعة باستعمال جهاز معاير بشكل خاص، ثم مقارنة ذلك بقراءة الجهاز الذي هو قيد الفحص.




شكل (15- 5) أداة المعايرة البسيطة




شكل (15- 6) غرفة المعايرة المحصنة، مع إجراء العمليات عن بعد




شكل (15-7) مظهر عام للمعايرة باستعمال جهاز قياسي

ومن المهم التذكر أنه مادامت الإجراءات لن تتخذ لمنع الإشعاع المستطار في إعداد هذا الفحص، فإن جزءاً متغيراً من الإشعاع الذي سيبلغ الكشاف ستنخفض طاقته، وهذا لا يؤثر إذا كان كل من الجهاز القياسي والجهاز قيد الفحص لهما الاستجابة نفسها للطاقة، ولكن إذا ما كانت الاستجابة للطاقة متباينة لا تصبح المعايرة مقبولة.

## خلاصة الفصل:

**الاختبار الإشعاعي**: قياس العينات الإشعاعية.

**تحديد هوية النويدات**: ألفا وبيتا، ومطياف جاما، امتصاص بيتا، أو قياسات عمر النصف.

**تعيين النشاط الإشعاعي للعينة**: كفاءة العد تعتمد على الطاقة، تصحيح النشاط الأساسي للعداد.

**زمن التبين**: تعطل الكشاف مدة قصيرة بعد تسجيل كل نبضة: يقلل زمن العد الفعال، وهذا مهم بالنسبة إلى معدلات العد العالية.

**الإحصاء العدّي**: الانحراف القياسي (ق) يقيس دقة العد:

$$ق = \sqrt{ع}$$

لأجل إنجاز دقة عالية يجب أن يكون العد مرتفعاً. (عشرة آلاف عدة تعطي دقة قدرها (1٪) علماً بأن النشاط الأساسي يؤثر على الدقة.

**معايرة الأجهزة**: استخدام مصادر إشعاع قياسية، أو المقارنة بأجهزة معايرة.

## أسئلة للمراجعة:

(1) لماذا يكون مهمًّا ـ عادة ـ تعيين تركيب المواد المشعة في ورق ترشيح عينة هوائية؟ كيف يمكن تحديد هوية النويدة؟

(2) عينة تعطي عدًّا قدره 16347 في دقيقة واحدة عندما تحسب بعداد جايجر-مويلر ذي نشاط أساسي قدره 750 عدة في عشر دقائق، فإذا كان زمن الهمود 300 مايكرو ثانية، والكفاءة 15٪ احسب النشاط الإشعاعي للعينة؟

(3) ماذا يعني (زمن التبين) لكاشف، وما أهميته بالنسبة إلى قياسات العد؟

(4) يبين الجدول أدناه نتائج كل من امتصاص بيتا وقياسات الاضمحلال لعينة. قدّر عمر النصف وطاقة بيتا القصوى، ثم استعن بجدول النويدات، وحاول تحديد هوية النويدة الموجودة في العينة.

**قياسات امتصاص بيتا:**

| الممتص (غم / سم$^2$) | صفر | 0.017 | 0.041 | 0.067 | 0.094 | 0.120 | 0.143 | 0.168 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| معدل العد المصحح (عدة /دقيقة) | 3613 | 3324 | 2867 | 2310 | 1897 | 1563 | 1306 | 1093 |

**قياسات الاضمحلال:**

| الزمن بالأيام | صفر | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| معدل العد المصحح (عدة/دقيقة) | 3613 | 3376 | 3136 | 2637 | 2353 | 1980 | 1768 | 1510 |

(5) ما أهمية الانحراف القياسي؟ كيف تحسب قيمته لقياسات عدة منفردة.

(6) تم عد عينة في معقل بيتا، فسجل 22501 عدة في خمسين دقيقة. والعد الأساسي يعطي 2040 عدة في ثلاثين دقيقة. احسب معدل العد المصحح والانحراف القياسي.

(7) ينبغي معايرة معدال لجرعات جاما باستخدام مصدر إشعاعي قياسي يعطي معدل جرعة قدره 720 مايكرو سيفرت/ ساعة على بعد متر واحد. فإذا كان المطلوب معايرة المعدال للجرعات 200 و 500 و 1000 و 2000 مايكرو سيفرت/ ساعة. احسب المسافة بين المصدر والجهاز في كل حالة.

# الفصل السادس عشر

# الطوارئ الإشعاعية

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل السادس عشر

# الطوارئ الإشعاعية

## 16ـ1 مقدمة:

يمكن تعريف الطارئ الإشعاعي بأنه أي حالة تؤدي إلى خطر إشعاعي غير اعتيادي أو غير متوقع، وهذا التعريف يغطي الأشياء من الإراقة الثانوية في مختبر لمحلول مشع يشتمل على عدة ميجا بيكريل وحتى حادث رئيس في مفاعل حيث قد تنطلق عدة آلاف من الميجابيكريل من نواتج الانشطار. والأسباب التي قد تؤدي إلى طارئ إشعاعي هي:

(1) **فقدان الحواجز الواقية**: حيث تؤدي إلى مستويات عالية من الإشعاع.

(2) **فقدان الحاوي**: حيث يؤدي إلى انطلاق المواد المشعة.

(3) **كتلة حرجة غير متحكم فيها**: مثل التولد السريع لمصدر مشع كبير، له مستويات عالية من الإشعاع.

وتحدث هذه الحالات عادة عن أسباب تقليدية، مثل خلل ميكانيكي أو حريق أو فيضان أو حادث نقل.

إن من المعتاد ـ لأغراض التخطيط والتحكم ـ التفريق بين المستويات المختلفة من الطوارئ التي يمكن حدوثها، فالإراقة الثانوية في مختبر المذكورة آنفاً تعدّ مصدر إزعاج أكثر من كونها تشكل خطراً، بل من الأنسب أن يشار إليها **بالحوادث الموضعية**. أما الحالات الخطرة التي تستوجب إخلاء بعض المناطق وليس لها أثر خارج الموقع أو المنشأة التي وقعت فيها فتسمى غالباً **بطارئ موقعي**. أما إذا كان أثر الحادث يمكن أن يشكل خطراً على عموم المواطنين خارج الموقع فيعرف **بطارئ عمومي**.

وأيًّا كانت الحالة فمن المفيد جدًّا أن يكون قد تم بحث احتمال حدوثها مسبقاً ووضعت إجراءات لمعالجتها. ومن الأمور المهمة اكتشاف أي حالة غير طبيعية في أقرب وقت ممكن، فإذا ما اكتشف حادث فقدان حواجز واقية مباشرة مثلاً واتخذت الخطوات التصحيحية حياله وأجري الإخلاء، فإن الجرعة المتعرض لها ستكون صغيرة جدًّا، وعلى النقيض من ذلك إذا كان عمال التشغيل وغيرهم ممن هم في جوار المحطة ليسوا على دراية بالحادث فقد يتعرضون لجرعات عالية جدًّا.

وسنناقش في هذا الفصل حالات عدة من الأنواع المذكورة آنفًا.

## 16ـ2 فقدان الحواجز الواقية:

### 16-2-1 في حالة مصدر صغير مغلق:

تستخدم المصادر الصغيرة المغلقة التي تطلق عادة أشعة جاما في كل من الصناعة والطب والتدريس بصورة واسعة، ومن غير المحتمل أن يؤدي المصدر الذي شدته أقل من 100 ميجابيكريل إلى جرعة زائدة لشخص ما (إلا إذا حمل في الجيب مثلاً)، ولهذا فإن فقدان حاجز هذه المصادر ربما يؤدي إلى حادث موضعي. وتتداول هذه المصادر عادة بالملقط، وتخزن في صناديق صغيرة مبطنة بالرصاص. والسبب الأكثر احتمالاً في فقدان الحاجز هو رفع المصدر من حاوية من قبل شخص ما، وعدم إعادته ثانية. والطريقة المثلى في الحماية من مثل هذه الحالات هو نصب أجهزة إنذار تعطي إشارات عندما لا يكون المصدر داخل الحاوي، وإن التفقد المنتظم للمصادر يقلل من احتمال عدم كشف الحالة مدة زمنية طويلة.

ويمكن أن يحدث فقدان الحواجز عن تلف ميكانيكي، فإذا سقط الحاوي مثلاً، لا ينبغي أن يكون هناك إشكالٌ في اكتشاف الحدث. ومن الأسباب الممكنة في حال الحريق الذي قد لا يؤدي إلى صهر الحواجز فحسب، بل يؤدي أيضاً إلى فقدان حاوي المصدر ذاته، وهذا ينبغي التحسب له.

### 16-2-2 مصادر كبيرة مغلقة:

توضع المصادر الكبيرة المغلقة ـ كتلك المستعملة في كل العمليات الصناعية والتصوير الإشعاعي وفي العلاج الطبي ـ في حاويات أنشئت خصيصاً لهذه الأغراض وتكون مزودة بوسائل ميكانيكية لإجراء التعرض الإشعاعي، وتصمم الحاويات لتتحمل الحوادث الميكانيكية المتوقعة كما أنها تقاوم الحريق، ويقلل من احتمال التعرض غير المقصود للمصدر الإشعاعي دقة تصميم الجهاز، ومع هذا فمن المستحسن وجود نظام للإنذار يكشف حالات الخطأ.

ومعظم الحوادث التي تشتمل على هذا النوع من المصادر تحدث في التصوير الإشعاعي الصناعي، فغالباً ما تجرى هذه العملية تحت ظروف صعبة في مواقع الإنشاءات، حيث لا يوجد أي نوع من أجهزة المراقبة، ولقد وقعت حوادث عدة انفصل فيها المصدر المشع عن آلات التشغيل، وعند إرجاع الآلات إلى موضع الخزن يبقى المصدر مكشوفاً دون حواجز، بل عثر في بعض الحالات على المصدر المشع عند شخص كان قد وضعه في جيبه دون أن تكون له دراية بصفاته الخطرة، وهذا يعرض الأشخاص لجرعات عالية جدًّا بل وقاتلة أحياناً. ومنع وقوع مثل هذه الحوادث لا يعتمد على الاستخدام الصحيح للمعدات المناسبة فحسب؛ بل يعتمد أيضاً على التدريب الجيد والالتزام الدقيق بإجراءات المراقبة المصممة مسبقاً من قبل المصور الإشعاعي. ويوجد حالياً كذلك أجهزة إنذار محمولة يمكن استخدامها في مواقع العمل.

### 16-2-3 حوادث تداول وقود المفاعل:

أشرنا في الفصل العاشر إلى المشكلات والأخطار المرتبطة بتداول الوقود الشديد الإشعاع من المفاعل النووي. أما في مجمع المفاعلات الكبيرة لتوليد الطاقة فتستخدم أجهزة التحكم عن بعد في رفع الوقود من المفاعل ونقله إلى حوض التبريد، ويمكن القول: إن من شبه المستحيل أن ينكشف الوقود ويصبح غير معزول إشعاعيًّا في هذه

المرحلة؛ نظراً لأجهزة الأمان المبنية فيه. أما في مفاعلات البحث العلمي فهناك ـ في العادة ـ مجال أوسع لوقوع حوادث إشعاعية عند تداول الوقود؛ لذا يكون الاعتماد الأكبر في هذه المفاعلات على استخدام إجراءات التشغيل المصرح بها. أما المجال الأكثر احتمالاً في وقوع حادث فقدان حاجز إشعاعي فهو أحواض التبريد، ربما عن طريق رفع الوقود غير المتعمد من الحوض أو بسبب فقدان ماء الحوض، ويمكن تخفيض احتمال وقوع مثل هذه الحوادث بالتصميم الجيد للمعدات والتشغيل والصيانة الحذرة. ومع هذا، فمن الضروري نصب نظام للإنذار عن الإشعاع بوصفه خطوة أخيرة للحماية.

## 16ـ3 فقدان الحاوي:

### 16- 3- 1 الإراقة الثانوية للمواد المشعة:

ربما تكون إراقة محلول مشع في مختبر بحدود عدة ميجا بيكريل هي الأكثر انتشاراً من بين الحوادث غير الطبيعية، ومما يقلل من احتمالات وقوع ذلك هو الممارسة المخبرية الجيدة كوضع حاويات المحاليل في طبق خاص يستطيع احتواء أي إراقة محتملة، وعلى أي حال فالإراقة يمكن أن تحدث في أحسن المختبرات تنظيماً، ولكن إذا ما عولجت مثل هذه الإراقة بصورة صحيحة، فإن التلوث الحاصل لن ينتشر خارج المختبر أو في المنطقة التي وقع فيها. والعمل الأكثر أهمية بعد إزالة أي تلوث شخصي متطلب هو مسح المواد المشعة المراقة باستخدام مواد ماصة قبل أن تجف فتنتشر جوًّا.

ومن الاحتياطات المفيدة في المختبرات التي تتعامل مع مصادر غير مغلقة توفير **حزم عدة للإراقة**، وحزمة الإراقة هذه: عبارة عن كيس من البلاستيك يحتوي على زوج من القفازات، وزوج من الأحذية الواقية، ولفافة من مادة ماصة (فضلات قطن أو مناشف ورقية... إلخ)، فتلبس القفازات والأحذية الواقية وتمسح الإراقة باستعمال المادة الماصة التي تعاد في الكيس بعد ذلك للتخلص منها. وبعد تنظيف معظم المواد المشعة بسرعة يمكن فحص السطح وإجراء تنظيف ثانٍ إذا ما استدعى الأمر. أما إذا ما تلوث شخص

نتيجة الإراقة فإنه يجب عليه لبس القفازات النظيفة والأحذية الواقية، والذهاب إلى منطقة التغيير أو منطقة إزالة التلوث دون نشر التلوث.

إن أي إراقة تظل دون اكتشاف مدة من الزمن يرجح أنها ستنتشر في المنطقة، وقد تمتد إلى خارجها فتتسبب في إحداث أخطار كبيرة، ولهذا فمن المهم أن يعتاد العاملون في المناطق التي تستخدم المصادر غير المغلقة على الاغتسال والفحص في كل مرة يغادرون فيها المنطقة.

وفي بعض الحالات قد يكون سبب انطلاق المواد المشعة هو عطل في الخدمات مثل التهوية أو المصدر الكهربائي، ويمكن أن يشكل العطل في الصناديق ذات الكفوف مشكلة في هذا الخصوص، فهي تستخدم تحت ضغط أقل قليلاً من الضغط الجوي، وهذا يعني أن التسرب إذا ما حدث فسيكون من الخارج إلى الداخل وليس العكس، فإذا تسبب عطل ما في زيادة ضغط الصندوق فإن التسرب سيكون نحو الخارج، أو قد تنفجر كفوف الصندوق أو لوحته في الحوادث الأشد خطورة مؤدية بذلك إلى إطلاق رئيس للمواد المشعة. ولذلك ينبغي إعطاء اهتمام خاص في التصميم لمثل هذه الاحتمالات للتقليل من فرص وقوعها، وينبغي أن تكون هناك إجراءات مدروسة مسبقاً للتعامل معها.

### 16-3-2 إراقات رئيسة للمواد المشعة:

إن الإراقات الرئيسة هي التي تتضمن 100 ميجابيكريل أو حواليها من النشاط الإشعاعي، ويمكنها أن تؤدي إلى أخطار جدية حسب سمّية النويدات المراقة، وقد تتطلب هذه الحالات الإخلاء المباشر للعاملين، ووقف نظام التهوية، وغلق المنطقة من أجل منع انتشار المواد المشعة. وقد يكون من الضروري التحكم في دخول المنطقة التي يقوم فريق يرتدي ملابس واقية مناسبة وأجهزة للتنفس في تطهيرها من الإشعاع. ومثل هذه الأوضاع تظهر قيمة التصميم المناسب للمختبر، ومن السهل نسبيًّا إزالة التلوث في

المختبرات الجيدة التي حظيت بعناية خاصة عند طلاء سطوحها. أما المختبرات ضعيفة التصميم فقد يكون من الصعب أو حتى من المستحيل إزالة التلوث منها.

### 16- 3- 3 تحررات رئيسة من أجهزة نووية:

من أخطر الحوادث المحتملة في فقدان الحاوي ما يتضمن تحرر نواتج الانشطار من مفاعل، وكما مر بنا سابقاً فإن هذه النواتج محتواة في ثلاثة حدود منفصلة هي بطانة الوقود، وبحدود جهاز التبريد وبمبنى المفاعل. والسبب الأكثر احتمالاً في تحرر نواتج الانشطار في مفاعلات الطاقة هو عطل في دائرة الضغط (مثل شرخ في قناة التبريد) يؤدي إلى فقدان المبرد وارتفاع درجة حرارة القلب وذوبان الوقود، وقد تتحرر نواتج الانشطار بعد ذلك من الوقود الذائب، وتتسرب خلال الشرخ الحاصل في جهاز التبريد، فإذا ما تسرب 0.1 ٪ فقط من مخزون نواتج الانشطار في مفاعل كبير من جهاز التبريد فإن هذه النسبة قد تصل إلى ما يزيد على $10^{17}$ بيكريل، وإذا تسرب 1٪ من هذه الكمية من مبنى المفاعل أو الحاوي، فإن المقدار المتحرر إلى الجو سيكون $10^{15}$ بيكريل مؤدياً إلى مستويات عالية جدًّا من الإشعاع، وإلى تلوث في موقع المفاعل وسيشكل خطراً على المواطنين المحليين.

إن مثل هذه التقديرات هي التي أدت إلى بناء الجيل الأول من المفاعلات النووية في مواقع بعيدة عن مراكز السكان، في حين تبنى ـ حالياً ـ بعض محطات كبيرة ذات تصميم حديث في مواقع جديدة قريبة من المدن، والسبب في ذلك يعود إلى أن المحطات ـ مثل المفاعل المتقدم المبرد بالغاز ـ إما موضوعة في داخل وعاء للضغط من الخرسانة المسلحة المتماسكة لا يمكن تصور الخلل فيها عمليًّا، وإما أن يكون في المفاعلات الأخرى أنظمة خاصة ـ كما الحال في مفاعلات الماء الخفيف ـ من ضمنها حاوٍ لتقليل إمكانية تحرر المواد المشعة في حالة وقوع خلل في نظام التبريد.

كان أحد أوائل حوادث المفاعلات قد وقع في ونسكيل في كمبرلاند[1] عام 1957م وكان المفاعل من التصميمات الأولى، التي كانت تستخدم التبريد المباشر بالهواء الذي يمرر داخل قلب المفاعل لإزالة الحرارة، ثم يفرغ ثانية إلى الجو عن طريق مدخنة مرتفعة مزودة بمرشحات، وقد كانت تجري آنذاك عملية خاصة أدت إلى ارتفاع درجة حرارة قضبان الوقود واشتعال النار فيها، وكانت المادة المشعة الرئيسة التي تحررت هي اليود-131، وذلك لكونها بخاراً، ولم تترشح بصورة فعالة بواسطة المرشحات، وقد قدّرت الكمية المتحررة من اليود -131 بمقدار $7 \times 10^{14}$ بيكريل. ومع أنه لم يكن من الضروري إخلاء أهالي المنطقة فقد أعلن أن اللبن المنتج في منطقة كبيرة باتجاه الريح غير صالح للاستهلاك، ويعود السبب في ذلك إلى مسار التعرض: اليود-131 ← مرعى ← تناوله الأبقار ← لبن ← استهلاك اللبن ← جرعة إلى الغدة الدرقية. هذا وقد تحررت نواتج انشطار أخرى مثل السترونشيوم والسيزيوم بكميات تقل كثيراً نتيجة عمل المرشحات.

والتبريد المباشر بالهواء لا يستخدم في الوقت الحاضر في مفاعلات الطاقة؛ لأنه لم يعد محتملاً وقوع حوادث أخرى من هذا النوع، وقد تعلمنا كثيرًا من حادث ونسكيل عن نوع التنظيم والمعدات والإجراءات الضرورية للتعامل مع مثل هذه الحوادث الرئيسة.

وعام 1979م وقع حادث في محطة تجارية كبيرة لمفاعل الماء المضغوط (BWR) في "ثري مايلز آيلند" (جزيرة الثلاثة الأميال) في بنسلفينيا من الولايات المتحدة الأمريكية، وكان سبب الحادث تسرب رئيس في جهاز الضغط، وعطل جهاز الأمان عن الاشتغال بسبب خطأ في أحد صماماته، وقد أدى فقدان المبرد إلى زيادة حرارة الوقود وتحرر مواد مشعة إلى الجو عن طريق نظام المخلفات الغازية. وكانت هذه المواد المشعة المتحررة

(1) كمبرلاند في إنجلترا.

مكونة أساساً من نواتج انشطار ذات أعمار أنصاف قصيرة نسبيًّا، وكان التعرض الإشعاعي للسكان القريبين من المحطة قليلاً نسبيًّا.

ولقد قاد هذا الحادث إلى زيادة الجهود لفهم العمليات التي يمكن أن تحدث خلال حادث مفاعل شديد. ويبدو أن تحرر نواتج الانشطار في معظم الحوادث التي يمكن أن تحدث في مفاعلات الماء الخفيف (LWRs) هي أقل مما كان متوقعاً، ويعود السبب في ذلك إلى عمليات عدة في الحاوي ولكون تركيب الحاوي نفسه له دور فعال في الحد من التحرر.

ووقع حادث أشد خطورة في تشيرنوبل بأوكرانيا عام 1986م شمل مفاعل الماء المغلي مبرداً بالجرافايت بطاقة 1000 ميجاواط كهرباء، وقد أدى الحادث إلى اشتعال حريق رئيس، وتحرر كمية كبيرة من المواد المشعة نحو ألف مرة ضعف التحرر الذي نتج عن حادث ونسكيل، ومليون مرة ضعف التحرر الذي حدث في جزيرة الأميال الثلاثة، وقد أدى حادث تشيرنوبل إلى معدلات عالية جدًّا من الجرع الإشعاعية في الموقع، وكان هناك تلوث إشعاعي شديد ليس فقط بحدود المنطقة ولكن تعداها إلى مناطق واسعة من أوروبا الغربية، ونتيجة لذلك تم إخلاء مدينة "بريبيت" التي تبعد 3-5 كم عن الموقع من سكانها البالغين 45000 نسمة في أقل من ثلاث ساعات في عصر اليوم الثاني للحادث، وذلك لأن معدل الجرع الإشعاعية فيها تتراوح بين 7-10 ملي سيفرت/ ساعة. وقد قدر أن معظم سكان بريبيت تعرضوا لجرع جاما لكل الجسم بلغت 15- 50 ملي جراي و100- 200 ملي جراي للجلد نتيجة جسيمات بيتا.

وبعد عقدين تقريباً من الزمان استمر حادث تشرنوبل يشغل تفكير العالم حول التأثيرات الإشعاعية لحوادث المفاعلات النووية، واستمرت الدراسات عن آثار تحرر المواد المشعة على السكان لتحديد أنظمة العلاج وخاصة بالنسبة إلى سرطانات الدرقية في الأطفال ولزيادة دقة معاملات الخطر. وقاد الحادث إلى إعادة تقويم طرق محاكاة التحرر والانتقال والأخذ للنظائر المشعة، وكذلك الاستعدادات والإجراءات المطلوبة للتعامل مع

هذه الأوضاع وإلى اتفاقية دولية عن الأمان النووي تهدف إلى تحسين مستوى الأمان في جميع المحطات النووية في العالم، واتفاقية بالإعلان المبكر عن الحوادث النووية للتأكد من أن جميع الدول التي هي عرضة للتأثر تخبر سريعاً بأي حادث يقع في المستقبل.

ومن المصادر المحتملة لوقوع حوادث رئيسة لتحرر المادة المشعة هي محطات معالجة الوقود النووي وتجهيزات خزن المخلفات التابعة لها. وكما هو مفصل في الفصل 10 أنه بعد معالجة الوقود كيميائيًّا يوجه دفق المخلفات ذات الإشعاعية المرتفعة التي تحوي تقريباً كل نواتج الانشطار والاكتينات الأعلى نحو خزانات حاوية خاصة، وهذه الخزانات قد تحوي إشعاعية عدة قلوب مفاعلات من المادة المشعة، وتتطلب التبريد لإزالة الحرارة المتولدة نتيجة الاضمحلال الإشعاعي ومنع تراكم غاز الهيدروجين الذي هو عرضة للانفجار، فأي انقطاع في التبريد ساعات عدة أو في حالة وقوع حادث شديد مثل هزة أرضية، أو اصطدام طائرة قد يؤدي إلى وهن الخزانات الحاوية وتحرر نسبة ملحوظة من المخزون، ومثل هذه الحوادث المحتملة ينبغي أن تشملها خطط الطوارئ لمحطات معالجة الوقود النووي.

## 16ـ4 كتلة حرجة غير متحكم فيها:

### 16-4-1 عموميات:

في الفصل العاشر شرحت عملية الانشطار والظروف التي يمكن أن يحدث عندها تفاعل متسلسل، ويمكن أن تحدث انحرافات حرجة[1] غير متحكم فيها (سائبة) في أي محطة أو مختبر يتعامل مع كميات كبيرة من مواد انشطارية وكذلك في المفاعلات. والسمة الرئيسة للكتلة الحرجة غير المتحكم فيها هي الفيض الكثيف من النيوترونات الفورية وأشعة جاما التي تنطلق في أثناء الانحراف، فإذا ما حدث هذا في منطقة ليس فيها حواجز أو فيها حواجز قليلة، فسوف يؤدي ذلك إلى أخطار إشعاعية كبيرة جدًّا، أما إذا

(1) (المقصود من الانحرافات الحرجة هو حصول الكتلة الحرجة للوقود النووي التي يمكن أن تنفجر مثل القنبلة النووية).

ما حدث في قلب المفاعل فإن الخطر سيقل كثيراً نتيجة للحاجز الإحيائي. وفي كلتا الحالتين إذا ما كانت الطاقة المتحررة كبيرة إلى حد كافٍ فيمكن أن تؤدي إلى تفاعل انفجاري وفقدان الحاوي وتحرر مادة مشعة.

وهناك ثلاثة تدابير لمنع حدوث كتلة حرجة عند وجود كميات كبيرة من المواد الانشطارية، وهي:

(1) توفير المواد **الآسرة للنيوترونات**.

(2) استخدام **أشكال آمنة**.

(3) تحديد الكميات (**الدفعات**).

والطريقة الأولى هي الأكثر أهمية في المفاعل، أما في محطات الوقود فتستخدم الطريقتان الثانية والثالثة بصورة منفردة أو مجتمعة.

### 16 ـ 4 ـ 2 المفاعلات:

يتم المحافظة على الحراجة في المفاعل بتغيير موضع قضبان التحكم، انظر مبحث [10- 3 - 2] ويمكن أن تقع الانحرافات الحرجة إذا لم تتمكن قضبان الوقود من دخول القلب عندما يتطلب ذلك أو عندما تخرج منه فجأة.

إن معظم الانحرافات الحرجة غير المتحكم فيها حدثت في مفاعلات تجريبية منخفضة الطاقة، وليست في مفاعلات الطاقة الكبيرة، وكان وقوع الحوادث في معظم الأحيان بسبب مجموعة من الملابسات مثل سوء التصميم، أو عطل ميكانيكي أو كهربائي، إضافة إلى خطأ في التشغيل.

ومن الحوادث التي درست بدقة ونشر تقريرها، ما وقع في مفاعل SL1 في مدينة إداهو فولز في الولايات المتحدة عام 1961م، فبعد إيقاف روتيني للمفاعل من أجل الصيانة، قام فريق من المشتغلين مكون من ثلاثة أشخاص بإعادة تركيب محرك قضيب

التحكم استعداداً لبدء التشغيل، وكان من تصميم آلية قضيب التحكم أن ترفع القضبان يدويًّا سنتمترات عدة عند توصيلها، وقد تبين أن قضيب التحكم المركزي كان مرفوعاً يدويًّا نحو نصف متر ما أدى بالمفاعل إلى الوصول إلى حالة حرجة، وأدت الطاقة المتحررة إلى انفجار شديد للبخار أدى إلى قتل الفريق المذكور، وتعرقلت عمليات الإصلاح بسبب مستويات الإشعاع التي وصلت إلى نحو 10 سيفرت/ ساعة في داخل مبنى المفاعل نتيجة تحرر نواتج الانشطار من قلب المفاعل، ولم يتسرب من المبنى إلا القليل من المواد المشعة على الرغم من أن المبنى لم يكن مصمماً بوصفه حاويًا. ووقع هذا الحادث بسبب خطأ خطير في التصميم، وبسبب الإشراف أو التدريب غير الكافيين للمشتغلين في المفاعل. إن التصاميم الحديثة لكل من المفاعلات التجريبية ومفاعلات الطاقة تحاول التأكد من جعل وقوع هذه الحوادث مستحيلاً.

### 16-4-3 محطات وقود المفاعل:

هناك ثلاثة أنواع لمحطات وقود المفاعل، وهي: محطات التخصيب، ومحطات التصنيع، ومحطات معاملة الوقود المشعع، وكل هذه المحطات تتعامل مع كميات كبيرة من المواد الانشطارية، وقد تكون هذه المواد في حالة صلبة أو سائلة، والنوع الأخير أكثر خطورة بسبب أن المحلول يوفر تهدئة للنيوترونات. وتتطلب طريقة "الأشكال الآمنة" جعل أواني جميع العمليات من الخزانات وأنابيب العمل بشكل يمنع أن تصبح محتوياتها في حالة حرجة، وأنسب الأشكال لذلك هو الصفائح الرقيقة والأسطوانات الطويلة؛ لأن الشكل الكروي هو أنسب الأشكال لتكون كتلة حرجة؛ لأن احتمال هروب النيوترونات منها دون إحداث انشطار آخر يكون على أقل نسبة ممكنة.

ويمكن تطبيق طريقة الأشكال الآمنة كذلك عند تداول المواد الانشطارية في حالتها الصلبة كأقراص وقود (قضبان أو ألواح)، ومثال ذلك طريقة الصفائح الرقيقة إذ إن سمتها الرئيسة أن جميع المادة الانشطارية تخزن وتعامل وتنقل ضمن مساحة معينة بحدود

عدد من الطبقات. فإذا كان السمك الآمن للمادة الانشطارية المتداولة هو 0.15م مثلاً، فإن كل المادة تخزن ليتعامل معها بارتفاع محدد، بين 1م و1.15م مثلاً فوق مستوى الطابق، وتكون جميع سطوح العمل على ارتفاع 1م، وترتب العربات والمكائن ورفوف الخزن بحيث تبقى المادة دائماً في طبقات رقيقة.

إن عمل الدفعات يعني أن تعامل المواد الانشطارية داخل المحطة بكميات أصغر من أن تصبح حرجة حتى في أسوأ الأحوال. ومن أجل توفير فرصة إضافية للأمان تصغر الدفعات عادة إلى حد تظل فيه أمينة حتى لو تضاعفت بسبب عطل ميكانيكي أو إداري. والنقطة المهمة الأخرى هي أن الأوعية والدفعات يجب أن توضع متباعدة بصورة كافية لمنع حدوث تفاعل بينهما.

ومهما كانت طريقة التحكم المستخدمة ينبغي عمل الاحتياطات وخاصة تقدير احتمال حدوث فيضان بسبب ما يوفره الماء من تهدئة وعكس للنيوترونات. أما خطط إطفاء الحريق فهي غالباً ما تكون معقدة بسبب الحاجة لاستثناء الماء من المنطقة.

وتمثل حادثة لوس آلاموس التي وقعت في نيومكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية عام 1958م واحدة من حوادث محطات الوقود عندما كان المسؤولون في المحطة يجرون جرداً لبقايا بلوتونيوم، حيث تم تفريغ مواد خزانين في خزان ثالث، وقد كان كل خزان يحوي كمية ذات كتلة آمنة من البلوتونيوم، ولكن عندما أضيفت الكميتان إلى بعضهما بعضاً تجمعت كمية ذات كتلة غير آمنة، إذ كانت بقية البلوتونيوم ثقيلة إلى حد ما، فترسبت في قاع الخزان الثالث بشكل يقترب من الحرج، وعندما خلطت محتويات الخزان كهربائيًّا اختلطت البقية مع المذيب الذي عمل مهدئاً للنيوترونات فصار النظام حرجاً، مما أدى إلى تعرض عامل التشغيل إلى جرعة قاتلة تقدر بـ 120 جراي.

## 16-5 التخطيط المسبق للطوارئ:

كان من النتائج المهمة لحادث جزيرة الأميال الثلاثة المذكور في المبحث (16-3-3) أن جميع الدول راجعت خططها المسبقة للطوارئ النووية، ففي الولايات المتحدة الأمريكية أدى ذلك - ضمن أمور أخرى - إلى زيادة المسافة بين المحطة والمناطق الآهلة بالسكان، وتطلب ذلك تخطيطاً مسبقاً، أما في المملكة المتحدة فقد رأى فريق المراجعة عدم ضرورة زيادة المسافة بين المحطة والمناطق الآهلة بالسكان ولكن دعت إلى عدد من الإجراءات لتحسين تنسيق خدمات الطوارئ وتسيير عملية اتخاذ القرار في حالات الطوارئ. أما حادث تشرنوبل فقد أدى إلى زيادة تقويم ترتيبات الطوارئ.

بعد عقدين من وقوع حادث تشرنوبل تبنت المنظمات الدولية مثل الاتحاد الأوروبي، والحكومات الوطنية، والسلطات المنظمة، توجيهات منهجية في ازدياد مطرد للتخطيط والطوارئ وتوفير المعلومات للمواطنين.

وازداد الطلب على مشغلي المنشآت حيث يجرى العمل بالإشعاع لإجراء تقويمات منهجية للأضرار والأخطار وذلك للأغراض الآتية:

- تحديد ماهية الإجراءات التطبيقية المعقولة التي يمكن اتخاذها، لمنع وقوع الحوادث التي يمكن التنبؤ بها، ومعالجة آثارها إذا وقع أي منها.
- توفير قاعدة هيكلية للتخطيط للطوارئ، وتوفير المعلومات للمواطنين.
- إعطاء معلومات إلى السلطات المحلية للتمكن من إعداد خطة خارج المنشأة.

لقد تبنت المملكة المتحدة أنظمة الإشعاع (الاستعداد للطوارئ وإعلام المواطنين) عام 2001 م لتطبيق بند عام 1996 في التوجيهات القياسية الأساسية للسلامة الذي تناول التدخل في حالات الطوارئ الإشعاعية. وأنظمة الإشعاع هذه طبقت أيضاً ما يخصها في توجيه معلومات المواطنين عام 1989م عن أخبار عامة الناس حول إجراءات الحماية الإشعاعية التي ينبغي تطبيقها والخطوات التي ينبغي اتخاذها في حالة الطوارئ.

يبدأ التخطيط المسبق للتعامل مع حالات الطوارئ في مرحلة التصميم لأي محطة أو عملية أو تجربة. إن التحليل التفصيلي في هذه المرحلة لا يظهر فقط الأخطار الرئيسة، بل يمكّن من إدخال طرق لخفض هذه الأخطار في التصميم ذاته. ومهما كانت جودة التصميم أو عدد الإجراءات الوقائية المتوافرة يبقى الاحتمال دائماً في وقوع حادث من نوع ما، ومن أجل التعامل مع هذا الاحتمال ينبغي وجود **جهاز للطوارئ**.

ويعتمد حجم هذا الجهاز كثيراً على نوع المحطة، وعلى الحجم المحتمل للطارئ، ففي المحطات الكبيرة مثل مفاعل الطاقة يكون الجهاز كبيراً إلى حد ما، ويشتمل على ممثلين من أقسام مختلفة، مثل:

**قسم الإدارة**: يمكن أن يساعد في أمور مثل النقل والاتصال بالجهات المسؤولة في الخارج والخدمات... إلخ.

**قسم الهندسة**: مسؤول عن توفير فرق الإنقاذ والتحكم في الخلل، وخدمات إزالة التلوث وصيانة معدات الطوارئ.

**القسم الطبي**: يتولى العناية بالإصابات الإشعاعية أو غيرها، ويكون واسطة الاتصال بالمستشفيات والهيئات الطبية.

**قسم الفيزياء الصحية**: يوفر أجهزة المراقبة وخدماتها، كما يعطي الإرشادات في كل ما يتعلق بالوقاية الإشعاعية.

والأعمال المطلوبة ومسؤوليات المجاميع المختلفة في التنظيم مفصلة في **إجراءات الطوارئ**، وتشتمل هذه الوثيقة على تعليمات الإخلاء والمراقبة والاتصال والرجوع واستخدام معدات الطوارئ.

وتشمل معدات الطوارئ معدات للإنقاذ، ومعدات طبية، وملابس واقية، وأدوات تنفس، وأجهزة مراقبة. ويجب أن يكون واضحاً ومعلوماً أنه يمكن أن تحدث مستويات

عالية جدًّا من الإشعاع ومن التلوث، ولهذا ينبغي أن تكون أجهزة المراقبة ذات مدى قياس عالٍ، ففي حادثة SL1 المذكورة آنفًا كانت مستويات الإشعاع التي واجهها فريق الإنقاذ تزيد على أعلى مدى قياس في أجهزتهم وهو 5 جراي/ ساعة، وتتوافر الآن أجهزة يمتد قياسها إلى نحو 50 جراي/ ساعة للاستخدام عند الطوارئ.

وأخيراً لا بد من التأكيد على أهمية تدريب جهاز الطوارئ، فمهما يكن حجم الموقف المحتمل، فإن التدريب المنتظم يذكر الموظفين بالأعمال والمسؤوليات الملقاة على عاتقهم، كما يتم خلال التدريب فحص معدات الطوارئ وإظهار نقاط الضعف في الإجراءات.

obeikandl.com

## خلاصة الفصل:

**الطوارئ الإشعاعية**: أخطار غير عادية أو غير متوقعة.

**مستويات الشدة المختلفة**: طارئ موضعي، أو طارئ موقعي، أو طارئ عمومي.

**الأسباب المحتملة للطوارئ الإشعاعية**: فقدان حاجز إشعاعي، فقدان حاوٍ، أو كتلة حرجة نتيجة عطل اعتيادي.

**اكتشاف الحالة**: من الأمور الحيوية اكتشاف الحادث مباشرة، وتثبيت أجهزة إنذار.

**تخطيط مسبق**: يبدأ في مرحلة التصميم، ويتطلب تحليلاً تفصيليًّا للأمان.

**جهاز الطوارئ**: إجراءات طوارئ ومعدات، تدريبات على الطوارئ.

## أسئلة للمراجعة:

(1) ما الطوارئ الإشعاعية؟ كيف يمكن أن تحدث مثل هذه الحالات؟

(2) ناقش أهمية الكشف السريع للطارئ الإشعاعي، شارحاً كيفية تحقيق ذلك عمليًّا.

(3) اشرح الطرق التي يمكن عن طريقها التحكم في أخطار الكتلة الحرجة في محطات وقود المفاعلات بشكل خاص.

(4) اكتب تعليمات طوارئ مختصرة تطبق في حالة حدوث إراقة في مختبر صغير يتعامل مع 100 مليون بيكريل من النويدات المنخفضة السمية.

# الفصل السابع عشر

# تنظيم خدمات

# الفيزياء الصحية وإدارتها

obeikandl.com

obeikandl.com

# الفصل السابع عشر

# تنظيم خدمات الفيزياء الصحية وإدارتها

## 17ـ1 عمليات إجمالية:

لقد كرست الفصول السابقة من هذا الكتاب لشرح الأفكار الفنية في الحماية الإشعاعية وممارستها، وهذا الفصل النهائي سيعرض المزيد من الأفكار العامة عن السيطرة التنظيمية والإدارية. وتعتمد عمليات الحماية الإشعاعية على:

( أ ) ترسيخ الحدود القياسية للحماية الإشعاعية.

(ب) صياغة التعليمات وأنظمة الممارسة العملية لأجل الوصول إلى الحدود القياسية.

(جـ) تصميم وتشغيل المحطات النووية، أو التجهيزات حسب الأنظمة.

( د ) الإشراف على جميع العمليات مع المراجعة المستمرة لها.

## 17ـ2 الأنظمة والتعليمات القياسية:

تمت الإشارة في الفصول الأولى إلى أن الحدود القياسية للحماية الإشعاعية المستعملة في معظم الأقطار قد أرسيت قواعدها على توصيات الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP)، وهذه التوصيات تراجع باستمرار على ضوء المعلومات الجديدة المستقاة من معاهد البحث في أنحاء متعددة من العالم. وكما ذكر في الفصل الرابع عشر، فإن الأقطار الأعضاء في المنظمة الأوروبية (EU) تخضع لمعاهد مجموعة الطاقة الذرية الأوروبية، وعليها الإذعان للحدود القياسية الموضوعة وفق توجيهات المجموعة الاقتصادية الأوروبية (EEC) للحماية الإشعاعية، وتعكس توجيهات الجماعة التصور والقيم العددية لأحدث توصيات الهيئة.

ففي المملكة المتحدة (بريطانيا) –على سبيل المثال– يتم تطبيق التوجيهات الأساسية القياسية للسلامة لعام 1996م في إطار عمل شامل منتظم تحت مرسوم (الصحة والسلامة في العمل). لقد تم تبني طريقة متعددة المراحل تتضمن ما يلي:

**1- التعليمات**: وبخاصة تعليمات الإشعاعات المؤينة (1999م) التي تحدد الواجبات والمتطلبات والمستويات الأساسية المسموح بها للتعرض للإشعاع، ومتطلبات حفظ السجلات، وغير ذلك.

**2-** قواعد عملية مصرح بها تشرح التطبيقات المفصلة للتعليمات في مناطق الأعمال الإشعاعية المحددة، وتوضح السبل في الموضوعات ذات الاهتمام العام من قبل جميع العاملين في الأشعة المؤينة، وهذه القواعد العملية صادرة من قبل السلطة التنفيذية للصحة والسلامة (HSE).

**3-** ملاحظات الاهتداء، وهي المطبوعة تحت رقابة لجنة الصحة والسلامة التي تقدم نصائح أكثر تفصيلاً، وتنير السبل في موضوعات معينة مع الأخذ في الحسبان الظروف المحلية. فعلى مستوى المحطات، هناك عادة وثائق مفصلة بالإجراءات التي تفسر متطلبات الأنظمة الرسمية ضمن التشغيلات المحددة التي تجرى.

## 17-3 التصميم والتشغيل:

تبدأ الحماية الإشعاعية في كل محطة بمرحلة التصميم والتخطيط، وهذا يقود بالضرورة إلى كون المصمم على اطلاع بالأفكار العامة لأخطار الإشعاع ووسائل السيطرة عليه. ولا بد - إضافة إلى ذلك - من الاستشارات الشاملة بين المصمم ومختلف المتخصصين من كيميائيين وفيزيائيي صحة، وموظفي منع الحرائق، ومدربين في الأمن الصناعي.

ولا ينطبق الاحتياج للتخطيط المبكر على تصميم المحطات فقط، وإنما يسري على طرق التشغيل والصيانة أيضاً. وقاعدة عامة، فالخطأ المحتمل في التشغيل الذي قد تنتج عنه

أخطار إشعاعية شديدة ينبغي أن توضع له الإجراءات الوقائية الهندسية، إما لمنعه أو لتقليل آثاره. وعلى سبيل المثال، فإن عواقب الخطأ في تشغيل مفاعل نووي يمكن إيقافها بواسطة نظام حماية المفاعل الذي يقوم بغلق المفاعل آليًّا إذا ما تجاوزت الطاقة أو درجة الحرارة حدًّا مقررًا.

لا بد ـ كذلك ـ من إعطاء الأهمية الدقيقة في مرحلة التصميم لمشكلات الصيانة، حيث يجب منع وضع الأجهزة التي تحتاج إلى صيانة رتيبة في المواقع ذات الإشعاع العالي. وعلى المنوال نفسه، لا بد من الاهتمام أيضاً باحتمال تسرب التلوث الإشعاعي نتيجة لأعمال الصيانة، ولما يتضمنه ترتيب العمل داخل المحطة. كل هذه الأمور لا بد من أخذها في الحسبان بوصفها جزءًا من مراجعة التصميم وتدعى عادة باسم "مراجعة أقل ما يمكن عمليًّا وبشكل معقول" (ALARA) وهذا يشمل تقويم مفصل للأوضاع الإشعاعية التي يمكن أن تحدث في تشغيل المحطة، ومتطلبات الوصول إلى مختلف المناطق وأجزاء المعدات لغرض التشغيل والصيانة، وبهذا يمكن تحديد المشاركات الكبيرة في الجرعة للعاملين وطرق تقليل هذه الجرعة. وتشمل المراجعة اتباع توجيهات منهجية تناقش سلسلة من الموضوعات، مثل:

هل يمكن تقليل حدود المصدر بتقليل كمية المادة المشعة في جزء من النظام؟

هل يمكن توفير دروع لجزء أو كل الأجزاء النشطة إشعاعيًّا للمحطة؟ هل يمكن تحسين التخطيط لزيادة المسافة؟

هل يمكن تغيير إجراءات التشغيل لتقليل الحاجة للدخول؟

هل يمكن تقليل متطلبات الصيانة بالاختيار الأمثل للمعدات؟

وينبغي الأخذ في الحسبان كذلك أوضاع احتمال التشغيل غير الاعتيادي والحوادث. إن نتائج مثل هذه المراجعات تدخل في التصميم في عملية مكررة في المحطات المعقدة مثل

المفاعلات النووية أو المحطات الكيميائية، فإن التشغيل والصيانة تكون تبعاً لإجراءات تفصيلية ومكتوبة تراجع بشكل دوري.

## 17ـ4 الإشراف والمراجعة:

يتم الإشراف والمراجعة للعمليات في الحماية الإشعاعية على مستويات عدة. فعلى مستوى القمة تقوم الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية بالمراجعة المستمرة للفلسفة العامة في الحماية الإشعاعية على ضوء تقدم المعرفة وتغير الظروف، وإنها تقوم باستمرار بمراجعة التأثيرات الإحيائية للإشعاع؛ للتأكد من بقاء صحة توصياتها.

وعلى المستوى الوطني تبقي الجهات الحكومية أو واضعو الأنظمة مراقبتها الدقيقة والدائمة على الصناعة المسؤولين عنها. ويمكن أن تكون المسوحات الإحصائية من المكونات المهمة لهذه المراجعات. فمثلاً: إن المراجعات الثانوية لإحصاءات الجرع موزعة على القطاعات والمهن المختلفة يمكن أن تظهر وتحدد المجالات التي تحتاج إلى عناية خاصة، وعلى المنوال نفسه فإن التقارير المتوازنة وإحصاءات الحوادث يمكن أن تسلط الانتباه على المجالات التي فيها مشكلات. وعلى مستوى المنظمات فإن المراجعة الدورية للحماية الإشعاعية تعدّ عنصراً أساسيًّا، فمثلاً: إن إعداد التقرير الإشعاعي السنوي يوفر فرصة لكبار الموظفين المسؤولين عن إعداد التقرير للتوقف المؤقت وإجراء التقويم، ويساعد التقرير الإدارة على مراقبة الوضع.

ويحتاج موظفو الحماية الإشعاعية في المنشأة ـ على المدى الأوسع ـ إلى أن يبقوا على جميع الموضوعات (المتعلقة بالحماية الإشعاعية) تحت المراجعة المستمرة، وهذا يشمل:

- الظروف الإشعاعية للأجهزة، وبخاصة خلال التشغيل غير المعتاد ومدد الصيانة.
- كفاءة تصنيف المناطق التي تحت التحكم والتي تحت الإشراف.
- سير الجرعات للمجاميع المختلفة من العاملين.

- اختبار معدات المراقبة ومعايرتها وصيانتها.
- تدريب الفيزيائيين الصحيين وبقية العاملين.

إن كل هذه العمليات من المراجعة تعدّ جزءاً مهمًّا من العملية الشاملة للحماية الإشعاعية، حيث تثبت تطبيق أسس الحماية المناسبة، وإن إجراءات السياسات المنظمة تتطور مع تغير الظروف، وإن الأداء الجيد مطبق في جميع شؤون التصميم والتشغيل للأجهزة.

## 17-5 منظمة الفيزياء الصحية:

إن قسم الفيزياء الصحية ما هو إلا منظمة للخدمات تنصب فعاليتها في الإرشاد حول جميع الموضوعات المتعلقة بالسلامة الإشعاعية، حيث تهيئ أجهزة وتعد أشخاصاً لضمان التقيد بحدود السلامة القياسية، وتبنى وجهة نظر المنظمة على أساس محاولة فريق العمل فيها استباق المشكلات ثم تقديم اقتراحات بديلة أكثر من انتظار المشكلات ثم إيقاف العمل، ويستلزم هذا الأمر اتصالات مكثفة على جميع المستويات مع الأقسام الأخرى.

وأعضاء منظمة الفيزياء الصحية يجب أن يكونوا بصفة عامة مستقلين، ومتفرغين، أي ليست لديهم أي مهام أخرى قد يحصل فيها تضارب بسبب العمل. وليس هذا الأمر سهلاً دائماً في المنظمات الصغيرة حيث تشكل أعمال الفيزياء الصحية فيها مسؤولية جزئية، ولكن ينبغي أن تبنى مواصفات العمل باحتراس.

إن التوجيه الأساسي لمعايير السلامة لعام 1996م يعرّف "الخبير المؤهل" ويضع المتطلبات للتدريب والخبرة والتقدير لمثل هؤلاء الخبراء، ويشتمل ملحق هذا التوجيه على الموضوعات التي ينبغي معالجتها في المنهاج الأساسي للتعليم في الحماية الإشعاعية للخبير المؤهل. ويوصي إضافة إلى ذلك بأن يشتمل المنهاج على موضوعات خاصة في خمسة مجالات محددة وهي: المنشآت النووية، والصناعة العامة، والبحث والتدريب والتطبيقات الصناعية والمسارعات.

وقد أشارت الإحصاءات في دول الاتحاد الأوروبي (**EU**) إلى وجود تباين واسع في توجهاتها في مجال التدريب ومؤهلات خبير الحماية الإشعاعية، وهذا يجعل الاعتراف المتبادل بالخبير المؤهل كما هو معرف في البند (1) للتوجه الأساسي لمعايير السلامة صعباً بين الدول الأعضاء، وقد اتخذت بعض الخطوات لتحسين الوضع شملت تكوين منبر مناقشة يسمح بتحسين التجانس في متطلبات التعليم والتدريب في المجالات المختلفة للحماية الإشعاعية.

وفي المملكة المتحدة يعدّ **مستشار الحماية الإشعاعية** هو الاسم المكافئ للخبير المؤهل كما هو مبسوط في التوجيه الأساسي لمعايير السلامة، وتحت مرسوم (HSW) لا بد من توظيف مستشار حماية إشعاعية من قبل صاحب العمل الذي تتطلب أعماله وضع **أماكن تحت السيطرة** أو **أماكن تحت الإشراف** (انظر الفصل 14). ويجب أن يحمل هذا المستشار تأهيلاً دراسيًّا ملائماً مع ممارسة كافية، ولا بد من أن تبلغ بها السلطة التنفيذية للصحة والسلامة. وإضافة إلى ذلك المستشار لا بد من توظيف **مشرف للحماية الإشعاعية** يقوم بالإشراف الموضعي، ويجب أن يحمل هذا المشرف مؤهلاً مناسباً، ومعرفة عملية عالية بالحماية الإشعاعية المتعلقة بنوع النشاط الإشعاعي في المكان الذي عين فيه المشرف. وقد يوظف أكثر من مستشار ومشرف إذا ما كان مجال الأعمال أو العمليات مما يقتضي ذلك.

وفي المؤسسات الكبيرة عادة ما تحتوي منظمات الفيزياء الصحية ـ إضافة إلى المشرفين والمستشارين ـ على مجموعة فنية مساندة مثل رؤساء فيزياء صحية، ومراقبي أعمال الفيزياء الصحية، وكتبة، وهذا يتضمن:

(1) إدارة لخدمات المراقبة الشخصية، والحفظ المستمر لسجلات الجرعة.

(2) القيام بالمسح الرتيب للإشعاع والتلوث في المناطق الخاضعة للسيطرة وفيما حولها، وتسجيل ذلك، مع تحليل النتائج لمعرفة الاتجاهات السائدة.

(3) يتم التعاون مع قسم الأجهزة في مجال الاحتياطات والصيانة ومعايرة أجهزة المراقبة.

(4) اختبار دقيق وفحص لجميع مصادر الإشعاع وتسجيلها.

(5) احتياطات وفحوصات منتظمة لجميع أجهزة الإنذار.

وربما يوجد عدد من الأعمال الأخرى تعتمد على مدى الأنشطة وتنظيم الهيئة ككل، ومنها على سبيل المثال:

(6) الاحتياطات الكافية في ملابس الحماية والأجهزة.

(7) السيطرة على المخلفات الإشعاعية، والاحتفاظ بسجلات لها.

(8) عمل الترتيبات اللازمة لأجل الفحوصات الطبية لعمال الفئة (أ).

وأخيراً، هناك بالطبع شؤون العمل اليومية التي تستدعي كثيرًا من الاهتمام، ومن ضمنها الاحتياطات الكافية للإرشاد والمراقبة خلال العمليات الخاصة أو غير الرتيبة، التي ـ ربما ـ تحمل معها الأخطار الملحوظة للإشعاع.

## 17ـ6 الوثائق والتقارير:

يجب حفظ بعض السجلات والتقارير بسلطة القانون أو بموجب نظام العمل. ومن أمثلة ذلك:

**السجل الصحي:** يشمل تدوين جميع الفحوص الطبية التي أجريت لأي عامل من الفئة (أ)، والتدوينات الفردية تحفظ لمدة 50 سنة بعد آخر قيد.

**سجل المصادر المشعة:** يحتوي على المعلومات المتعلقة بجميع المصادر المشعة، وجميع تواريخ ونتائج فحوصات التسرب، ومدة الاحتفاظ به سنتان بعد آخر قيد.

**سجل المعدات:** يستعمل لتدوين تفصيلات ونتائج فحوص جميع الأجهزة المستعملة لأغراض الفيزياء الصحية، ومدة الاحتفاظ به سنتان بعد آخر قيد.

**سجلات جرعات الإشعاع:** لا بد من حفظها بالنسبة جميع العمال المصنفين، ويحتفظ بها حتى يصل عمل الشخص 75 عاماً أو 50 عاماً بعد آخر قيد، أيهما أطول. وفي إطار العمل التنظيمي للسلطة التنفيذية للصحة والسلامة ينبغي استخدام خدمات جرع مصرح لها في تقويم الجرعات الشخصية وفي حفظ سجل الجرعات، ويحق لكل عامل الاطلاع على سجل جرعته الخاص، ومدة الاحتفاظ به 50 سنة بعد آخر قيد، بحيث يتضمن كل سجل رقم التأمين الوطني للعامل، ولأي عامل الحق ـ دوماً ـ في الاطلاع على سجل جرعته الخاص. يمنح العامل (هو أو هي) عندما يغير عمله سجلاً نهائيًّا يحتوي على تفصيل لجرعته الحالية (لأجل المعلومات فحسب)، وعلى صاحب العمل الجديد أن يطلب مثل هذا السجل الذي يحمل الإرشادات الضرورية من مختبره المصرح له.

إن أنظمة الإشعاع المؤين لعام 1999م، ألزمت أرباب الأعمال بمطلب جديد؛ وهو ضرورة التأكد من كون كل عامل يعين من قبلهم بأنه قد حصل على سجلات الإشعاع السابقة، على أن تكون هذه السجلات محدَّثة، وعندما ينتقل العامل إلى رب عمل آخر عليه أن ينقل سجلاته إليه. هذا النظام يساعد على التأكد من أن الجرع المتعرض لها من قبل العمال المتنقلين تبقى بحدود الجرع المسموح بها قانونيًّا.

**تقارير المسح:** تحوي نتائج المسح الإشعاعي الرتيب والتلوث وتبقى عادة مدة سنتين على الأقل.

**تقارير الحالات الطارئة:** يجب أن تفحص بشكل تام جميع الحالات الطارئة التي نتج أو كان ممكناً أن ينتج عنها جرعة إشعاع غير اعتيادية، ومثل هذه التقارير تحفظ –في العادة ـ مدة 50 سنة على الأقل.

**سجلات رمي المخلفات:** تبقى إلى الأبد، وبالأخص تلك التقارير التي تبين أماكن دفن المخلفات الإشعاعية الصلبة.

## 17-7 التدريب:

إن سجلات السلامة للصناعات المستخدمة لمصادر الإشعاع المؤين - وبخاصة صناعة الطاقة الذرية - هي جيدة جدًّا عموماً، ويعود هذا بصورة رئيسة لموقف الصناعة النيِّر من تدريب العاملين، وحيث تلزم القوانين والأنظمة فيها كل الأشخاص المتعرضين للإشعاع، كجزء من عملهم المهني، إلى التدريب على الأخطار وعلى كيفية السيطرة عليها. ويتدرج هذا التدريب من المحاضرات القصيرة حول عمل مقاييس الجرع الشخصية والخطوط العريضة للأنظمة المحلية، إلى الدورات التفصيلية في الفيزياء الصحية، وذلك حسب طبيعة المحطة وواجبات العاملين فيها.

والدورات المتخصصة مهمة بالنسبة إلى المشتغلين في الفيزياء الصحية، وغالباً ما تنظم المؤسسات الكبيرة دوراتها التدريبية الخاصة بها لمراقبي الفيزياء الصحية فيها ولفنييها، بينما يقوم آخرون بالاستفادة من الدورات التي تعطيها الكليات والجامعات أو منظمات متخصصة.

وفي المملكة المتحدة، تنظم شعبة الحماية الإشعاعية في وكالة حماية الصحة عدداً من الدورات عن الحماية الإشعاعية تتراوح ما بين الدورات القصيرة المألوفة والدورات المتقدمة جدًّا الصالحة للمتخصصين في الفيزياء الصحية.

وأفضل سمات التدريب أهمية بالنسبة إلى جميع العاملين في مجال الفيزياء الصحية، هو الألفة الميدانية (التآلف مع المحطة)، ويتضمن هذا تنفيذ التعليمات في مواطنها، ومعرفة السمات الهندسية للمحطة التي يعملون فيها، إذ إن فهم المحطة أمر جوهري عند التطلع إلى الإرشاد الملائم، والحفاظ فيها على موقف بناء.

## خلاصة الفصل:

**مراجعة "الأقل ما يمكن عمليًّا وبشكل معقول** (ALARA): المراجعة الرسمية للتصميم و/أو التشغيل للمحطة.

**اعتبارات في الحماية الإشعاعية الرتيبة**: الحدود القياسية، والأنظمة والتعليمات، وتصميم عمل المحطة، ومنظمة الفيزياء الصحية، والتوثيق وكتابة التقارير.

**السجل الصحي**: تسجيل جميع الفحوص الطبية عندما يكون العمال مصنفين.

**سجل المصادر المشعة**: يحتوي على معلومات عن جميع مصادر الإشعاع، ونتائج جميع فحوص التسرب وتواريخها.

**سجل الأجهزة**: تسجيل فحوص جميع أجهزة الفيزياء الصحية، وتحفظ مدة سنتين بعد آخر قيد.

**سجلات جرعات الإشعاع**: التسجيل لفئة العمال (أ)، مدة الاستبقاء 50 سنة بعد آخر قيد.

**تقارير المسح**: تُحفظ عادة مدة سنتين على الأقل.

**تقارير الحوادث الطارئة**: تُحفظ 50 سنة على الأقل.

**سجلات رمي المخلفات**: تُحفظ بشكل دائم.

**التدريب**: الحماية الإشعاعية، الألفة الحقلية.

obeikandl.com

# الملحقات

obeikandl.com

obeikandl.com

## ملحق رقم ( 1 )

## العلاقة بين الوحدات الإشعاعية

| الكمية الإشعاعية | الوحدة القديمة | وحدات النظام العالمي | العلاقة بين الوحدات | |
|---|---|---|---|---|
| النشاط الإشعاعي للمادة المشعة | الكوري<br>1 كوري = $3.7 \times 10^{10}$ تحلل/ ثانية | البيكريل<br>1 بيكريل = 1 تحلل/ ثانية<br>$10^{3}$ بيكريل = 1 كيلو بيكريل<br>$10^{6}$ بيكريل = 1 ميجا بيكريل<br>$10^{9}$ بيكريل = 1 جيجا بيكريل<br>$10^{12}$ بيكريل = 1 تيرا بيكريل<br>$10^{15}$ بيكريل = 1 بيتا بيكريل<br>$10^{18}$ بيكريل = 1 إكسا بيكريل | 1 بيكريل = $2.7 \times 10^{-11}$ كوري | 1 كوري = 37 جيجا بيكريل |
| جرعة الامتصاص | الراد<br>1 راد = 0.01 جول/ كغم | الجراي<br>1 جراي = 1 جول/ ك غم<br>1 جراي = $10^{3}$ ملي جراي<br>= $10^{6}$ مايكرو جراي | 1 جراي = 100 راد | 100 راد = 1 جراي |
| مكافئ الجرعة | الريم<br>1 ريم = 1 راد × م<br>م = معامل النوعية | السيفرت<br>1 سيفرت = 1 جراي × $W_R$<br>1 سيفرت = $10^{3}$ ملي سيفرت<br>= $10^{6}$ مايكرو سيفرت<br>$W_R$ : معامل الإشعاع النوعي | 1 سيفرت = 100 ريم | 100 ريم = 1 سيفرت |

## ملحق رقم (2)

## أجوبة الأسئلة العددية

### الفصل الأول

**(2)** 27، 27، 33

**(3)** الكتل بالترتيب: 1، 1/1840، 1 الشحنات بالترتيب: +1، -1، 0

### الفصل الثاني

**(2)** (أ) $^{234}_{90}Th$ (ب) $^{3}_{2}He$ (جـ) $^{62}_{28}Ni$

**(4)** 2.3 دقيقة.

**(5)** ( أ ) 5 ميجا بيكريل. (ب) 0.75 ميجا بيكريل.

(جـ) 1300 ميجا بيكريل. ( د ) 1 ميجا بيكريل.

### الفصل الثالث

**(5)** $2.65 \times 10^{7}$ نيوترون/(م$^2$ ث).

**(6)** $-84 \times 10^{-6}$ سيفرت (84 مايكرو سيفرت).

**(7)** 1.2 ملي سيفرت.

### الفصل الخامس

**(2)** 2.20 ملي سيفرت/سنة × 30 سنة = 66 ملي سيفرت.

### الفصل السادس

**(3)** 150 ملي سيفرت، 500 ملي سيفرت.

**(5)** 40 ملي سيفرت.

**(6)** 400 ملي سيفرت، 167 ملي سيفرت، 167 ملي سيفرت، 400 ملي سيفرت.

## الفصل الثامن

**(2)** 10 ساعات، 2.5 مايكرو سيفرت/ ساعة.

**(3)** 225 مايكرو سيفرت/ ساعة، 3 متر.

**(4)** **6** متر.

**(5)** 200 مايكرو سيفرت/ ساعة.

## الفصل التاسع

**(1)** 11.1 ملي سيفرت.

**(2)** 312.5 بيكريل.

**(4)** $4 \times 10^4$ بيكريل/ $م^2$.

**(5)** $1.67 \times 10^4$ بيكريل/ $م^3$.

## الفصل الخامس عشر

**(2)** 1970 بيكريل.

**(4)** أقصى طاقة لإشعاع بيتا 1.71 ميجا إلكترون فولت.

عمر النصف 14.3 يوم.

فوسفور-32.

**(6)** $382 \pm 3.4$ عدة/ دقيقة.

**(7)** 1.9م، 1.2م، 0.85م، 0.6م.

obeikandl.com

## ملحق رقم (3)

## أهم المصطلحات والمفردات الواردة في الكتاب

مرتبة حسب حروف الهجاء العربية

| | |
|---|---|
| إثارة (تهيج) | Excitation |
| أجهزة بركة الوقود | Pond instrumentation |
| اختصاصيو الأشعة | Radiologists |
| إراقة | Spills |
| أسر الإلكترون | Electron capture |
| أسر نيوتروني | Neutron capture |
| إشعاع | Radiation |
| إشعاع ألفا | Alpha radiation |
| إشعاع بيتا | Beta radiation |
| إشعاع جاما | Gamma radiation |
| إشعاع طبيعي | Natural radiation |
| إشعاع كهرومغناطيسي | Electromagnetic radiation |
| إشعاع مصنع | Man-made radiation |
| إشعاعية محتثة | Induced radioactivity |
| أشعة الكبح (التوقف) | Bremsstrahlung |
| أشعة سينية | X-rays |
| أشعة كونية | Cosmic radiation |
| إعداد مسبق للطوارئ | Pre-planning for emergencies |
| أغلفة (مدارات) | Shells |
| إفرازات | Excreta |
| أقصى تحمل للجسم (أفتح) | Maximum Achievable Body Burden (MABB) |
| أكمام (جمع كم) | Quanta |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Electron-volt | إلكترون فولت |
| Photo multiplier tube | أنبوب التضاعف الضوئي |
| Pair production | إنتاج زوجي |
| Reference man | الإنسان المرجع (رجل الإسناد) |
| Ionizing radiations regulations | أنظمة الأشعة المؤينة |
| Approved codes of practice | أنظمة العمل الموثقة |
| Negative ion | أيون سالب |
| Positive ion | أيون موجب |
| Containment of contamination | احتواء التلوث |
| Statistics | إحصائيات جهاز العد |
| Erythema | احمرار الجلد (مرض) |
| Radio assay | اختبار إشعاعي |
| Feedback | الارتجاع |
| Response | استجابة |
| Recombination of ions | استركاب الأيونات |
| Inelastic scattering | استطارة غير مرنة |
| Compton scattering | استطارة كومبتن |
| Elastic scattering | استطارة مرنة |
| Response of instrument | استطاقة الجهاز |
| Inhalation of contamination | استنشاق التلوث |
| Radioactive decay | اضمحلال (تفكك) إشعاعي |
| Energy absorption | امتصاص طاقة |
| Alpha emission | انبعاث ألفا |
| Beta emission | انبعاث بيتا |
| Gamma emission | انبعاث جاما |
| Standard deviation | انحراف قياسي |

| | |
|---|---|
| Fission | انشطار |
| Mitosis | انقسام فتيلي (غير مباشر) |
| Meiosis | انقسام منصف |
| Avalanche of ionization | انهمار التأين |
| Euratom | إيراتوم (المنظمة الذرية الأوروبية) |
| Storage ponds | برك خزن الوقود |
| Cooling pond | بركة أو حوض التبريد |
| Proton | بروتون |
| Fuel cladding | بطانة الوقود |
| Lithium borate | بورات الليثيوم |
| Positron | بوزيتون |
| Bequerel (Bq) | بيكريل |
| Activation effect | تأثير التنشيط الإشعاعي |
| Photographic effect | تأثير اللوح الفوتوغرافي |
| Photoelectric effect | تأثير كهروضوئي |
| Scintillation effect | تأثير ومضي |
| Early radiation effects | تأثيرات الإشعاع المبكرة |
| Late radiation effects | تأثيرات الإشعاع المتأخرة |
| Somatic effects | تأثيرات جسدية |
| Biological effects | تأثيرات حيوية (بيولوجية أو أحيائية) |
| Early biological effects | تأثيرات حيوية مبكرة |
| Late biological effects | تأثيرات حيوية متأخرة |
| Stochastic effects | تأثيرات غير عتبية (احتمالية) |
| Deterministic effects (Non-stochastic effects) | تأثيرات حتمية (عتبية) |
| Hereditary effects | تأثيرات وراثية |
| Ionization | تأين |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Dispersal | تبديد |
| Blistering | تبثر |
| Fractionation | تجزيء (تبعيض) |
| Batching | تحزيم |
| Feather analysis | تحليل "فيدر" |
| Commission | ترخيص (إجازة)، هيئة |
| Derived air concentration (DAC) | تركيز الهواء المشتق (تمه) |
| Taming | ترويض |
| On-load refueling | تزود بالوقود عند التشغيل |
| Off-load refueling | تزود بالوقود عند التوقف |
| Product releases | تسربات نواتج الانشطار |
| Design of radioactive areas | تصميم مناطق الإشعاع |
| Radio toxicity classification | تصنيف السمية الإشعاعية |
| Laboratory classification | تصنيف معملي |
| Area classification | تصنيف مناطق |
| Radiography | تصوير إشعاعي |
| Diagnostic radiography | تصوير إشعاعي تشخيصي |
| Industrial radiography | تصوير إشعاعي صناعي |
| Crystallography | تصوير بلوري |
| X-ray crystallography | تصوير بلوري بالأشعة السينية |
| Diagnostic fluoroscopy | تصوير تشخيصي لضافي |
| Exposure | تعرض |
| Population exposure | تعرض السكان (المواطنين) |
| Acute exposure to radiation | تعرض حاد للإشعاع |
| Abnormal exposure | تعرض شاذ (غير معتاد) |
| Occupational exposure | تعرض مهني (وظيفي) |

| | |
|---|---|
| Planned special exposures | تعرضات خاصة معدة (سابقة الإعداد) |
| Emergency exposures | تعرضات طوارئ |
| Chain reaction | تفاعل متسلسل |
| Survey reports | تقارير المسح |
| Ulceration | تقرح |
| Life shortening | تقصير الحياة |
| Gas amplification | تكبير غازي |
| Image intensification | تكثيف الصورة |
| Contamination | تلوث |
| Monitor contamination | تلوث المرقاب |
| Surface contamination | تلوث سطحي |
| Airborne contamination | تلوث هوائي |
| Decay constant | ثابت الاضمحلال الإشعاعي |
| Effective decay constant | ثابت الاضمحلال الفعال (المؤثر) |
| Time constant | ثابت الزمن |
| Chart of the nuclides | جدول النويدات |
| Gray | جراي |
| Tolerance dose | جرعة السماح |
| Threshold dose | جرعة العتبة |
| $LD_{50/30}$ | الجرعة القاتلة (المميتة) لنصف الأشخاص خلال 30 يوماً |
| Genetic dose | جرعة جينية |
| Collective dose | جرعة كلية |
| Maximum permissible dose | جرعة مباحة قصوى |
| Dose commitment | جرعة ملزمة |
| Dose from natural radiation | جرعة من المصادر الطبيعية |
| Dose from man-made sources | جرعة من المصادر المصنعة |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Circulatory system | الجهاز الدموي |
| Respiratory system | جهاز تنفسي |
| Digestive system | جهاز هضم |
| Genes | جينات (مورثات) |
| Los Alamos criticality accident | حادث الحراجة في لوس آلاموس |
| Windscale accident | حادث مفاعل ونسكيل |
| Chromosomes | حاملات الصفات الوراثية (كروموسومات) |
| Containment | حاوي |
| Nuclear reactor containment | حاوي المفاعل النووي |
| Annual Limit of Intake (ALI) | حد سنوي للأخذ (حسا) |
| Maximum permissible dose limits | حدود الجرعات المباحة القصوى |
| Annual dose limits | حدود الجرعة السنوية |
| Quarterly dose limits | حدود الجرعة ربع السنوية |
| Derived working limits (DWL) | حدود العمل المشتقة (حعم) |
| Dose equivalent limits | حدود مكافئ الجرعة |
| Dose equivalent limits for public | حدود مكافئ الجرعة لعموم الناس |
| Dose equivalent for workers | حدود مكافئ الجرعة للعاملين |
| Criticality | الحراجة (الخطر) |
| Uncontrolled criticality | حراجة غير مسيطر عليها |
| Thermo luminescence | حراضوئية (ظاهرة) |
| Shielding | حواجز واقية (دروع) |
| Fuel handling accidents | حوادث تداول الوقود |
| Local accidents | حوادث موضعية |
| Typical output | خارج مثالي |
| National disposal service | الخدمة الوطنية للمخلفات |
| Fume cupboards | خزانات الأبخرة |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Fertile | خصب |
| Pigmentation | خضّب – تخضيب – صبغ – اصطباغ |
| Emergency plan | خطة طوارئ |
| Emergency procedures | خطوات طوارئ |
| Germ cell | خلية جنسية |
| Input | الداخل |
| Effluent | دفق |
| Food chains | دورات غذائية |
| Atom | ذرة |
| Band | رابط |
| Excitation band | رابط الإثارة |
| Valence band | رابط التكافؤ |
| Conduction band | رابط التوصيل |
| Forbidden band | رابط الحظر |
| Energy band | رابط الطاقة |
| Rad | راد |
| Radium | راديوم |
| Spill pack | رزم الإراقة |
| Chimney stacks | ركام المداخن |
| Trefoil radiation symbol | رمز الوريقات الثلاث (الرمز العالمي للإشعاعات المؤينة) |
| Roentgen | رونتجن |
| Rem | ريم |
| Resolving time | زمن التبين |
| Dead time | زمن الهمود |
| Ion pair | زوجا الأيون |
| Positron-electron pair | زوجا بوزيترون– إلكترون |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Exposure pathways | سبل التعرض |
| Critical exposure pathway | سبيل التعرض الحرج |
| Instrument register | سجل الجهاز |
| Hea1th register | سجل صحي |
| Dose records | سجلات الجرعة |
| Cataract | سد العين (مرض عتامة عدسة العين) |
| Cancer | سرطان |
| Breast cancer | سرطان الثدي |
| Thyroid cancer | سرطان الدرقية |
| Leukemia | سرطان الدم (لوكيميا) |
| Lung cancer | سرطان الرئة |
| Bone cancer | سرطان العظم |
| Liver cancer | سرطان الكبد |
| Heavy disintegration series | سلاسل التحلل الثقيلة |
| Actinium series | سلسلة أكتينيوم |
| Natural radioactive series | سلسلة الإشعاع الطبيعي |
| Thorium series | سلسلة الثوريوم |
| Neptunium series | سلسلة النبتونيوم |
| Uranium series | سلسلة اليورانيوم |
| Hea1th and safety executive | السلطة التنفيذية للصحة والسلامة |
| Tenth value thickness (layer) | سمك العشر |
| Half-value layer (thickness) | سمك النصف |
| Toxicity | سمية |
| Dose commitment control | سيطرة على الجرعة المودعة |
| Sievert | سيفرت |
| Film badge | شارة الفيلم |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Radium dial painters | صباغو تدريجات الساعات بالراديوم |
| Limestone | صخور جيرية |
| Sand stone | صخور رملية |
| Photograph | صورة فوتوغرافية |
| Latent image | صورة كامنة |
| Electron trapping | صيد الإلكترون |
| Emergency | طارئ |
| Site emergency | طارئ موقعي |
| Seaweed | طحلب |
| Disposal | طرح |
| Spontaneous mutations | طفرات تلقائية |
| Mutations | طفرات وراثية |
| Radiological emergencies | طوارئ إشعاعية |
| Public emergencies | طوارئ عامة |
| Plateau | طور الاستقرار (هضبة) |
| Energy spectrum | طيف طاقة |
| Working conditions | ظروف العمل |
| Typical operating condition | ظروف العمل المثالية |
| Modifying factor | عامل التحوير |
| Counter | عداد |
| Conductivity counter | عداد التوصيل |
| Proportional counter | عداد تناسبي |
| Geiger-Muller counter | عداد جايجر – مويلر |
| Whole body counter | عداد كل الجسم |
| Atomic number | عدد ذري |
| Mass number | عدد كتلي |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Therapy | علاج |
| Radiotherapy | علاج إشعاعي |
| Cancer radiotherapy | علاج إشعاعي للسرطان |
| Radioisotope therapy | العلاج بالنظائر المشعة |
| Flux-dose relationship | علاقة (الفيض–الجرعة) |
| Radiology | علم الإشعاع |
| Diagnostic radiology | علم التشخيص الإشعاعي |
| Therapeutic radiology | علم العلاج الإشعاعي |
| Physiology | علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجي) |
| Human physiology | علم وظائف الأعضاء البشرية |
| Biological half-life ($T_{1/2}$) | عمر النصف الحيوي |
| Effective half-life | عمر النصف الفعال (المؤثر) |
| Radioactive half-life | عمر النصف لمادة مشعة (عمر نصف النشاط الإشعاعي) |
| Transuraniun | عناصر ما فوق اليورانيوم |
| Fallout | غبار ذري (سقط) |
| Ionization chamber | غرفة التأين |
| Category A workers | فئة العمال (أ) |
| Category B workers | فئة العمال (ب) |
| Kick sorter | فارز النبضات |
| Dead time | مدة همود |
| Filament | فتيلة |
| Smear survey | فحص المسح |
| Nuclear Installations Inspectorate | فحص المنشآت النووية |
| Diagnostic radioisotope tests | فحوص التشخيص بالنظائر المشعة |
| Loss of containment | فقدان الحاوي |
| Loss of shielding | فقدان الحواجز الواقية |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Fluorescence | الفلورة (ظاهرة اللصف) |
| Calcium fluoride | فلوريد الكالسميوم |
| Lithium fluoride | فلوريد الليثيوم |
| Flux | الفيض (الدفق) |
| Product inventory | قائمة جرد (مجرودات) النواتج |
| Inverse square law | قانون التربيع العكسي |
| Common law | قانون شائع |
| Vault | قبو |
| Penetrating power | قدرة اختراق |
| Billet | قرص |
| Department of the Environment | قسم البيئة |
| House rules | قواعد مختبرية |
| German legislation | قوانين ألمانية |
| French legislation | قوانين فرنسية |
| Personal dosemetry | قياس الجرعة الشخصية |
| Gain | الكسب |
| Detector | كشاف |
| Quartz fiber electrometer | كشاف ألياف الكوارتز الكهربائي |
| Conductivity electrometer | كشاف توصيل |
| Thermo luminescence electrometer | كشاف حراضوئي |
| Zinc sulphide detector | كشاف كبريتيد الخارصين |
| Cadmium Sulphide detector | كشاف كبريتيد الكادميوم |
| Scintillation detector | كشاف وميض |
| Efficiency | كفاءة |
| Quantum | كمي |
| Curie | كوري |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Protective clothing | لباس حماية |
| Fluoroscopy | لصافة (فلورة) |
| Wad | لفيفة (حشوة) |
| Track plate | لوحة الأثر |
| Fast neutron track plate | لوحة مسار النيوترون السريع |
| Laver bread | ليفربريد (اسم طحلب) |
| Matter | مادة |
| Dosemeter | مجراع (مقياس الجرعات) |
| National Radiological Protection Board (NRPB) | مجلس الحماية الإشعاعية الوطنية البريطانية |
| Critical group | مجموعة حرجة |
| Collimator | محزم |
| Windscale fuel reprocessing plant | محطة وتسكيل لمعالجة الوقود النووي |
| Pulse height analyzer | محلل ارتفاع النبضة |
| External radiation hazard | أخطار الإشعاع الخارجي |
| Internal radiation hazard | أخطار الإشعاع الداخلي |
| Approved laboratory | مختبر موثق |
| Enriched | مخصب |
| Waste | مخلفات |
| Radioactive waste | مخلفات إشعاعية |
| Orbits | مدارات |
| Criticality locket | مدلاة الخطر |
| Monitors | مراقب (جمع مرقاب) |
| Radiation monitors | مراقب الإشعاع |
| Neutron monitors | مراقب النيوترون |
| Monitoring | مراقبة |
| Personal monitoring | مراقبة أشخاص |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Radiation monitoring | مراقبة الإشعاع |
| Surface contamination monitoring | مراقبة التلوث السطحي |
| Airborne survey monitoring | مراقبة التلوث الهوائي |
| Biological monitoring | مراقبة حيوية |
| Neutron monitoring | مراقبة نيوترون |
| Output | مردود (خارج) |
| Act | مرسوم |
| Radiological Protection Act | مرسوم الحماية الإشعاعية |
| Health and Safety Act | مرسوم الصحة والسلامة |
| Atomic Energy Act | مرسوم الطاقة الذرية |
| Factories Act | مرسوم المصانع |
| Nuclear Installation Act | مرسوم المنشآت النووية |
| Nuclear substances Act | مرسوم المواد الإشعاعية |
| Radiation sickness | مرض الإشعاع |
| Compound | مركب |
| Radiological safety officer | مسؤول (ضابط) السلامة الإشعاعية |
| Photographic emulsion | مستحلب اللوح الفوتوغرافي |
| Back scatter | المستطار الخلفي |
| Electronic levels | مستويات إلكترونية |
| Intervention levels | مستويات تدخل |
| Energy levels | مستويات طاقة |
| Slite collimator | مسدد حزوز |
| Radiation protection supervisor | مشرف الحماية الإشعاعية |
| Emitter | مشع |
| Radiator | مشعاع |
| Terrestrial sources | مصادر أرضية |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Man-made sources | مصادر مصنعة |
| Neutron sources | مصادر نيوترونات |
| Photo neutron source | مصدر نيوترونات فوتوني |
| Anode | مصعد |
| Weighting factor formula | معادلة معامل الموازنة |
| Film processing | معالجة الفيلم |
| Fuel processing | معالجة الوقود |
| Linear absorption coefficient | معامل الامتصاص الخطي |
| Weighting factor | معامل الموازنة |
| Quality factor | معامل النوعية |
| Calibration | معايرة |
| Emergency equipment | معدات طوارئ |
| Emergency equipments | معدات طوارئ |
| Counting equipment | معدات عد |
| Rate meter | معدال (مقياس معدل الجرعات) |
| Disintegration rate | معدال التفكك |
| Rem rate meter | معدال الريم |
| Thermo luminescent dose rate meter | معدال جرعة حراضوئية |
| Pulse rate meter | معدال نبضات |
| Dose rate | معدل الجرعة |
| Flow rate | معدل الدفق |
| Counting rate | معدل العد |
| Background rate | معدل العد الأساسي |
| Castle | معقل (تحصين) |
| Reactor | مفاعل |
| Pressurized water reactor (PWR) | مفاعل الماء المضغوط |

obeikandi.com

| | |
|---|---|
| Boiling water reactor (BWR) | مفاعل الماء المغلي |
| Liquid metal fast reactor (LMFBR) | مفاعل سريع مبرد بالمعدن السائل |
| Fast breading reactor (FBR) | مفاعل سريع مخصب |
| CANDO reactor | مفاعل كندو |
| Magnox reactor | مفاعل ماكنوكس |
| Advanced gas-cooled reactor | مفاعل مبرد بالغاز مطور |
| Nuclear reactor | مفاعل نووي |
| Pulse scale | مقياس النبضات |
| Neutron rem meter | مقياس ريم النيوترون |
| Personal dosemeter | مقياس معدل الجرعات الشخصية |
| Equivalent | مكافئ |
| Amplifier | مكبر |
| D.C. amplifier | مكبر التيار المباشر (المستمر) |
| Pulse amplifier | مكبر النبضة |
| International Labor office (ILO) | مكتب العمال الدولي |
| Mechanism | مكننة |
| Discriminator | مميز |
| Decay curve | منحنى الاضمحلال |
| Beta absorption curve | منحنى امتصاص |
| Gonad | منسل (غدة تناسلية) |
| Uncontrolled area | منطقة غير متحكم فيها |
| Supervised area | منطقة مراقبة (خاضعة للإشراف) |
| Controlled area | منطقة مسيطر عليها |
| Restricted area | منطقة مقيدة |
| World health organization | منظمة الصحة العالمية |
| Hea1th physics organization | منظمة الفيزياء الصحية |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Airborne | منقول في الهواء (محمول) |
| Cathode | مهبط (كاثود) |
| Hot cathode | مهبط ساخن |
| Radioactivity (Radioactive materials) | مواد مشعة |
| Uncontained radioactivity | مواد مشعة مكشوفة |
| Infection death | موت التهاب |
| Central nervous system death | موت الجهاز العصبي المركزي |
| Wave | موجة |
| Advisor | موجّه |
| Radiation protection advisor | موجّه الحماية الإشعاعية |
| Activity | نشاط إشعاعي (شدة إشعاعية، مادة مشعة) |
| Induced Activity | نشاط إشعاعي محث |
| Isotopes | نظائر |
| Radioisotopes | نظائر مشعة |
| Code | نظام |
| Nucleus | نواة |
| Parent nucleus | النواة الأم |
| Daughter nucleus | النواة الوليدة |
| Neutron | نيوترون |
| Instantaneous neutron | نيوترون آني |
| Thermal neutron | نيوترون حراري |
| Delayed neutron | نيوترون متأخر |
| Ingestion of contamination | هضم (ابتلاع) التلوث |
| Geometry of fissile material | هندسة المواد الانشطارية |
| Emergency organization | هيئة (منظمة) طوارئ |
| International commission on radiological protection (ICRP) | الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| International Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU) | الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياساته |
| Health and safety commission | هيئة الصحة والسلامة |
| E.H.T. unit | وحدة الجهد الكهربائي العالي |
| Teletherapy unit | وحدة العلاج عن بعد |
| Atomic mass unit | وحدة الكتلة الذرية |
| Gastrointestinal death | وفيات معوية |
| Fissile fuel | وقود انشطاري |
| Fossil fuels | وقود عضوي |
| International atomic energy agency (IAEA) | وكالة الطاقة الذرية العالمية |
| Nuclear energy agency | وكالة الطاقة النووية |

obeikandl.com

## ملحق رقم ( 4 )

## أهم المصطلحات والمفردات الواردة في الكتاب

مرتبة حسب الحروف اللاتينية

| | |
|---|---|
| Abnormal exposure | تعرض شاذ (غير معتاد) |
| Act | مرسوم |
| Actinium series | سلسلة أكتينيوم |
| Activation effect | تأثير التنشيط الإشعاعي |
| Activity | نشاط إشعاعي (شدة إشعاعية، مادة مشعة) |
| Acute exposure to radiation | تعرض حاد للإشعاع |
| Advanced gas-cooled reactor | مفاعل مبرد بالغاز مطور |
| Advisor | موجّه |
| Airborne | منقول في الهواء (بحوقل) |
| Airborne contamination | تلوث هوائي |
| Airborne survey monitoring | مراقبة التلوث الهوائي |
| Alpha emission | انبعاث ألفا |
| Alpha radiation | إشعاع ألفا |
| Amplifier | مكبر |
| Annual dose limits | حدود الجرعة السنوية |
| Annual Limit of Intake (ALI) | حد سنوي للأخذ (حسا) |
| Anode | مصعد |
| Approved codes of practice | أنظمة العمل الموثّقة |
| Approved laboratory | مختبر موثّق |
| Area classification | تصنيف مناطق |
| Atom | ذرة |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Atomic Energy Act | مرسوم الطاقة الذرية |
| Atomic mass unit | وحدة الكتلة الذرية |
| Atomic number | عدد ذري |
| Avalanche of ionization | انهمار التأين |
| Back scatter | المستطار الخلفي |
| Background rate | معدل العد الأساسي |
| Band | رابط |
| Batching | تخزيم |
| Bequerel (Bq) | بيكريل |
| Beta absorption curve | منحنى امتصاص |
| Beta emission | انبعاث بيتا |
| Beta radiation | إشعاع بيتا |
| Billet | قرص |
| Biological effects | تأثيرات حيوية (بيولوجية أو أحيائية) |
| Biological half-life ($T_{1/2}$) | عمر النصف الحيوي |
| Biological monitoring | مراقبة حيوية |
| Blistering | تبشر |
| Boiling water reactor (BWR) | مفاعل الماء المغلي |
| Bone cancer | سرطان العظم |
| Breast cancer | سرطان الثدي |
| Bremsstrahlung | أشعة الكبح (التوقف) |
| Cadmium Sulphide detector | كشاف كبريتيد الكادميوم |
| Calcium fluoride | فلوريد الكالسيوم |
| Calibration | معايرة |
| Cancer | سرطان |
| Cancer radiotherapy | علاج إشعاعي للسرطان |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| CANDO reactor | مفاعل كندو |
| Castle | معقل (تحصين) |
| Cataract | سد العين (مرض عتامة عدسة العين) |
| Category A workers | فئة العمال (أ) |
| Category B workers | فئة العمال (ب) |
| Cathode | مهبط (كاثود) |
| Central nervous system death | موت الجهاز العصبي المركزي |
| Chain reaction | تفاعل متسلسل |
| Chart of the nuclides | جدول النويدات |
| Chimney stacks | ركام المداخن |
| Chromosomes | حاملات الصفات الوراثية (كروموسومات) |
| Circulatory system | الجهاز الدموي |
| Code | نظام |
| Collective dose | جرعة كلية |
| Collimator | محزم |
| Commission | ترخيص (إجازة)، هيئة |
| Common law | قانون شائع |
| Compound | مركب |
| Compton scattering | استطارة كومبتن |
| Conduction band | رابط التوصيل |
| Conductivity counter | عداد التوصيل |
| Conductivity electrometer | كشاف توصيل |
| Containment | حاوي |
| Containment of contamination | احتواء التلوث |
| Contamination | تلوث |
| Controlled area | منطقة مسيطر عليها |

| | |
|---|---|
| Cooling pond | بركة أو حوض التبريد |
| Cosmic radiation | أشعة كونية |
| Counter | عداد |
| Counting equipment | معدات عد |
| Counting rate | معدل العد |
| Critical exposure pathway | سبيل التعرض الحرج |
| Critical group | مجموعة حرجة |
| Criticality | الحراجة (الخطر) |
| Criticality locket | مدلاة الخطر (الحراجة) |
| Crystallography | تصوير بلوري |
| Curie | كوري |
| D.C. amplifier | مكبر التيار المباشر (المستمر) |
| Daughter nucleus | النواة الوليدة |
| Dead time | زمن الهمود |
| Dead time | مدة همود |
| Decay constant | ثابت الاضمحلال الإشعاعي |
| Decay curve | منحنى الاضمحلال |
| Delayed neutron | نيوترون متأخر |
| Department of the Environment | قسم البيئة |
| Derived air concentration (DAC) | تركيز الهواء المشتق (تمه) |
| Derived working limits (DWL) | حدود العمل المشتقة (حعم) |
| Design of radioactive areas | تصميم مناطق الإشعاع |
| Detector | كشاف |
| Deterministic effects (Non-stochastic effects) | تأثيرات حتمية (عتبية) |
| Diagnostic fluoroscopy | تصوير تشخيصي لصافي |
| Diagnostic radiography | تصوير إشعاعي تشخيصي |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Diagnostic radioisotope tests | فحوص التشخيص بالنظائر المشعة |
| Diagnostic radiology | علم التشخيص الإشعاعي |
| Digestive system | جهاز هضم |
| Discriminator | مميز |
| Disintegration rate | معدال التفكك |
| Dispersal | تبديد |
| Disposal | طرح |
| Dose commitment | جرعة ملزمة |
| Dose commitment control | سيطرة على الجرعة المودعة |
| Dose equivalent for workers | حدود مكافئ الجرعة للعاملين |
| Dose equivalent limits | حدود مكافئ الجرعة |
| Dose equivalent limits for public | حدود مكافئ الجرعة لعموم الناس |
| Dose from man-made sources | جرعة من المصادر المصنعة |
| Dose from natural radiation | جرعة من المصادر الطبيعية |
| Dose rate | معدل الجرعة |
| Dose records | سجلات الجرعة |
| Dosemeter | مجراع (مقياس الجرعات) |
| E.H.T. unit | وحدة الجهد الكهربائي العالي |
| Early biological effects | تأثيرات حيوية مبكرة |
| Early radiation effects | تأثيرات الإشعاع المبكرة |
| Effective decay constant | ثابت الاضمحلال الفعال (المؤثر) |
| Effective half-life | عمر النصف الفعال (المؤثر) |
| Efficiency | كفاءة |
| Effluent | دفق |
| Elastic scattering | استطارة مرنة |
| Electromagnetic radiation | إشعاع كهرومغناطيسي |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Electron capture | أسر الإلكترون |
| Electron trapping | صيد الإلكترون |
| Electronic levels | مستويات إلكترونية |
| Electron-volt | إلكترون فولت |
| Emergency | طارئ |
| Emergency equipment | معدات طوارئ |
| Emergency equipments | معدات طوارئ |
| Emergency exposures | تعرضات طوارئ |
| Emergency organization | هيئة (منظمة) طوارئ |
| Emergency plan | خطة طوارئ |
| Emergency procedures | خطوات طوارئ |
| Emitter | مشع |
| Energy absorption | امتصاص طاقة |
| Energy band | رابط الطاقة |
| Energy levels | مستويات طاقة |
| Energy spectrum | طيف طاقة |
| Enriched | مخصب |
| Equivalent | مكافئ |
| Erythema | احمرار الجلد (مرض) |
| Euratom | إيراتوم (المنظمة الذرية الأوروبية) |
| Excitation | إثارة (تهيج) |
| Excitation band | رابط الإثارة |
| Excreta | إفرازات |
| Exposure | تعرض |
| Exposure pathways | سبل التعرض |
| External radiation hazard | أخطار الإشعاع الخارجي |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Factories Act | مرسوم المصانع |
| Fallout | غبار ذري (سقط) |
| Fast breading reactor (FBR) | مفاعل سريع مخصب |
| Fast neutron track plate | لوحة مسار النيوترون السريع |
| Feather analysis | تحليل "فيذر" |
| Feedback | الارتجاع |
| Fertile | خصب |
| Filament | فتيلة |
| Film badge | شارة الفيلم |
| Film processing | معالجة الفيلم |
| Fissile fuel | وقود انشطاري |
| Fission | انشطار |
| Flow rate | معدل الدفق |
| Fluorescence | الفلورة (ظاهرة اللصق) |
| Fluoroscopy | لصافة (فلورة) |
| Flux | الفيض (الدفق) |
| Flux-dose relationship | علاقة (الفيض–الجرعة) |
| Food chains | دورات غذائية |
| Forbidden band | رابط الحظر |
| Fossil fuels | وقود عضوي |
| Fractionation | تجزيء (تبعيض) |
| French legislation | قوانين فرنسية |
| Fuel cladding | بطانة الوقود |
| Fuel handling accidents | حوادث تداول الوقود |
| Fuel processing | معالجة الوقود |
| Fume cupboards | خزانات الأبخرة |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Gain | الكسب |
| Gamma emission | انبعاث جاما |
| Gamma radiation | إشعاع جاما |
| Gas amplification | تكبير غازي |
| Gastrointestinal death | وفيات معوية |
| Geiger-Muller counter | عداد جايجر – مويلر |
| Genes | جينات (مورثات) |
| Genetic dose | جرعة جينية |
| Geometry of fissile material | هندسة المواد الانشطارية |
| Germ cell | خلية جنسية |
| German legislation | قوانين ألمانية |
| Gonad | منسل (غدة تناسلية) |
| Gray | جراي |
| Half-value layer (thickness) | سمك النصف |
| Hea1th and safety executive | السلطة التنفيذية للصحة والسلامة |
| Hea1th physics organization | منظمة الفيزياء الصحية |
| Hea1th register | سجل صحي |
| Health and Safety Act | مرسوم الصحة والسلامة |
| Health and safety commission | هيئة الصحة والسلامة |
| Heavy disintegration series | سلاسل التحلل الثقيلة |
| Hereditary effects | تأثيرات وراثية |
| Hot cathode | مهبط ساخن |
| House rules | قواعد مختبرية |
| Human physiology | علم وظائف الأعضاء البشرية |
| Image intensification | تكثيف الصورة |
| Induced Activity | نشاط إشعاعي محث |



obeikandi.com

| | |
|---|---|
| Induced radioactivity | إشعاعية محتثة |
| Industrial radiography | تصوير إشعاعي صناعي |
| Inelastic scattering | استطارة غير مرنة |
| Infection death | موت التهاب |
| Ingestion of contamination | هضم (ابتلاع) التلوث |
| Inhalation of contamination | استنشاق التلوث |
| Input | الداخل |
| Instantaneous neutron | نيوترون آني |
| Instrument register | سجل الجهاز |
| Internal radiation hazard | أخطار الإشعاع الداخلي |
| International atomic energy agency (IAEA) | وكالة الطاقة الذرية العالمية |
| International Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU) | الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياساته |
| International commission on radiological protection (ICRP) | الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية |
| International Labor office (ILO) | مكتب العمال الدولي |
| Intervention levels | مستويات تدخل |
| Inverse square law | قانون التربيع العكسي |
| Ion pair | زوجا الأيون |
| Ionization | تأين |
| Ionization chamber | غرفة التأين |
| Ionizing radiations regulations | أنظمة الأشعة المؤينة |
| Isotopes | نظائر |
| Kick sorter | فارز النبضات |
| Laboratory classification | تصنيف معملي |
| Late biological effects | تأثيرات حيوية متأخرة |
| Late radiation effects | تأثيرات الإشعاع المتأخرة |
| Latent image | صورة كامنة |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Laver bread | ليفربريد (اسم طحلب) |
| $LD_{50/30}$ | الجرعة القاتلة (المميتة) لنصف الأشخاص خلال 30 يومًا |
| Leukemia | سرطان الدم (لوكيميا) |
| Life shortening | تقصير الحياة |
| Limestone | صخور جيرية |
| Linear absorption coefficient | معامل الامتصاص الخطي |
| Liquid metal fast reactor (LMFBR) | مفاعل سريع مبرد بالمعدن السائل |
| Lithium borate | بورات الليثيوم |
| Lithium fluoride | فلوريد الليثيوم |
| Liver cancer | سرطان الكبد |
| Local accidents | حوادث موضعية |
| Los Alamos criticality accident | حادث الحراجة في لوس آلاموس |
| Loss of containment | فقدان الحاوي |
| Loss of shielding | فقدان الحواجز الواقية |
| Lung cancer | سرطان الرئة |
| Magnox reactor | مفاعل ماكنوكس |
| Man-made radiation | إشعاع مصنع |
| Man-made sources | مصادر مصنعة |
| Mass number | عدد كتلي |
| Matter | مادة |
| Maximum Achievable Body Burden (MABB) | أقصى تحمل للجسم (أفتح) |
| Maximum permissible dose | جرعة مباحة قصوى |
| Maximum permissible dose limits | حدود الجرعات المباحة القصوى |
| Mechanism | مكننة |
| Meiosis | انقسام منصف |
| Mitosis | انقسام فتيلي (غير مباشر) |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Modifying factor | عامل التحوير |
| Monitor contamination | تلوث المرقاب |
| Monitoring | مراقبة |
| Monitors | مراقب (جمع مرقاب) |
| Mutations | طفرات وراثية |
| National disposal service | الخدمة الوطنية للمخلفات |
| National Radiological Protection Board (NRPB) | مجلس الحماية الإشعاعية الوطنية البريطانية |
| Natural radiation | إشعاع طبيعي |
| Natural radioactive series | سلسلة الإشعاع الطبيعي |
| Negative ion | أيون سالب |
| Neptunium series | سلسلة النبتونيوم |
| Neutron | نيوترون |
| Neutron capture | أسر نيوتروني |
| Neutron monitoring | مراقبة نيوترون |
| Neutron monitors | مراقب النيوترون |
| Neutron rem meter | مقياس ريم النيوترون |
| Neutron sources | مصادر نيوترونات |
| Nuclear energy agency | وكالة الطاقة النووية |
| Nuclear Installation Act | مرسوم المنشآت النووية |
| Nuclear Installations Inspectorate | فحص المنشآت النووية |
| Nuclear reactor | مفاعل نووي |
| Nuclear reactor containment | حاوي المفاعل النووي |
| Nuclear substances Act | مرسوم المواد الإشعاعية |
| Nucleus | نواة |
| Occupational exposure | تعرض مهني (وظيفي) |
| Off-load refueling | تزود بالوقود عند التوقف |

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| On-load refueling | تزود بالوقود عند التشغيل |
| Orbits | مدارات |
| Output | مردود (خارج) |
| Pair production | إنتاج زوجي |
| Parent nucleus | النواة الأم |
| Penetrating power | قدرة اختراق |
| Personal dosemeter | مقياس معدل الجرعات الشخصية |
| Personal dosemetry | قياس الجرعة الشخصية |
| Personal monitoring | مراقبة أشخاص |
| Photo multiplier tube | أنبوب التضاعف الضوئي |
| Photo neutron source | مصدر نيوترونات فوتوني |
| Photoelectric effect | تأثير كهروضوئي |
| Photograph | صورة فوتوغرافية |
| Photographic effect | تأثير اللوح الفوتوغرافي |
| Photographic emulsion | مستحلب اللوح الفوتوغرافي |
| Physiology | علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجي) |
| Pigmentation | خضب – تخضيب – صبغ – اصطباغ |
| Planned special exposures | تعرضات خاصة معدة (سابقة الإعداد) |
| Plateau | طور الاستقرار (هضبة) |
| Pond instrumentation | أجهزة بركة الوقود |
| Population exposure | تعرض السكان (المواطنين) |
| Positive ion | أيون موجب |
| Positron | بوزيتون |
| Positron-electron pair | زوجا بوزيترون- إلكترون |
| Pre-planning for emergencies | إعداد مسبق للطوارئ |
| Pressurized water reactor (PWR) | مفاعل الماء المضغوط |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Product inventory | قائمة جرد (مجرودات) النواتج |
| Product releases | تسربات نواتج الانشطار |
| Proportional counter | عداد تناسبي |
| Protective clothing | لباس حماية |
| Proton | بروتون |
| Public emergencies | طوارئ عامة |
| Pulse amplifier | مكبر النبضة |
| Pulse height analyzer | محلل ارتفاع النبضة |
| Pulse rate meter | معدال نبضات |
| Pulse scale | مقياس النبضات |
| Quality factor | معامل النوعية |
| Quanta | أكمام (جمع كم) |
| Quantum | كمي |
| Quarterly dose limits | حدود الجرعة ربع السنوية |
| Quartz fiber electrometer | كشاف ألياف الكوارتز الكهربائي |
| Rad | راد |
| Radiation | إشعاع |
| Radiation monitoring | مراقبة الإشعاع |
| Radiation monitors | مراقب الإشعاع |
| Radiation protection advisor | موجّه الحماية الإشعاعية |
| Radiation protection supervisor | مشرف الحماية الإشعاعية |
| Radiation sickness | مرض الإشعاع |
| Radiator | مشعاع |
| Radio assay | اختبار إشعاعي |
| Radio toxicity classification | تصنيف السمية الإشعاعية |
| Radioactive decay | اضمحلال (تفكك) إشعاعي |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Radioactive half-life | عمر النصف لمادة مشعة (عمر نصف النشاط الإشعاعي) |
| Radioactive waste | مخلفات إشعاعية |
| Radioactivity (Radioactive materials) | مواد مشعة |
| Radiography | تصوير إشعاعي |
| Radioisotope therapy | العلاج بالنظائر المشعة |
| Radioisotopes | نظائر مشعة |
| Radiological emergencies | طوارئ إشعاعية |
| Radiological Protection Act | مرسوم الحماية الإشعاعية |
| Radiological safety officer | مسؤول (ضابط) السلامة الإشعاعية |
| Radiologists | اختصاصيو الأشعة |
| Radiology | علم الإشعاع |
| Radiotherapy | علاج إشعاعي |
| Radium | راديوم |
| Radium dial painters | صباغو تدريجات الساعات بالراديوم |
| Rate meter | معدال (مقياس معدل الجرعات) |
| Reactor | مفاعل |
| Recombination of ions | استركاب الأيونات |
| Reference man | الإنسان المرجع (رجل الإسناد) |
| Rem | ريم |
| Rem rate meter | معدال الريم |
| Resolving time | زمن التبين |
| Respiratory system | جهاز تنفسي |
| Response | استجابة |
| Response of instrument | استطاقة الجهاز |
| Restricted area | منطقة مقيدة |
| Roentgen | رونتجن |

| | |
|---|---|
| Sand stone | صخور رملية |
| Scintillation detector | كشاف وميض |
| Scintillation effect | تأثير ومضي |
| Seaweed | طحلب |
| Shells | أغلفة (مدارات) |
| Shielding | حواجز واقية (دروع) |
| Sievert | سيفرت |
| Site emergency | طارئ موقعي |
| Slite collimator | مسدد حزوز |
| Smear survey | فحص المسح |
| Somatic effects | تأثيرات جسدية |
| Spill pack | رزم الإراقة |
| Spills | إراقة |
| Spontaneous mutations | طفرات تلقائية |
| Standard deviation | انحراف قياسي |
| Statistics | إحصائيات جهاز العد |
| Stochastic effects | تأثيرات غير عتبية (احتمالية) |
| Storage ponds | برك خزن الوقود |
| Supervised area | منطقة مراقبة (خاضعة للإشراف) |
| Surface contamination | تلوث سطحي |
| Surface contamination monitoring | مراقبة التلوث السطحي |
| Survey reports | تقارير المسح |
| Taming | ترويض |
| Teletherapy unit | وحدة العلاج عن بعد |
| Tenth value thickness (layer) | سمك العشر |
| Terrestrial sources | مصادر أرضية |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Therapeutic radiology | علم العلاج الإشعاعي |
| Therapy | علاج |
| Thermal neutron | نيوترون حراري |
| Thermo luminescence | حراضوئية (ظاهرة) |
| Thermo luminescence electrometer | كشاف حراضوئي |
| Thermo luminescent dose rate meter | معدال جرعة حراضوئية |
| Thorium series | سلسلة الثوريوم |
| Threshold dose | جرعة العتبة |
| Thyroid cancer | سرطان الدرقية |
| Time constant | ثابت الزمن |
| Tolerance dose | جرعة السماح |
| Toxicity | سمية |
| Track plate | لوحة الأثر |
| Transuraniun | عناصر ما فوق اليورانيوم |
| Trefoil radiation symbol | رمز الوريقات الثلاث (الرمز العالمي للإشعاعات المؤينة) |
| Typical operating condition | ظروف العمل المثالية |
| Typical output | خارج مثالي |
| Ulceration | تقرح |
| Uncontained radioactivity | مواد مشعة مكشوفة |
| Uncontrolled area | منطقة غير متحكم فيها |
| Uncontrolled criticality | حراجة غير مسيطر عليها |
| Uranium series | سلسلة اليورانيوم |
| Valence band | رابط التكافؤ |
| Vault | قبو |
| Wad | لفيفة (حشوة) |
| Waste | مخلفات |



obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Wave | موجة |
| Weighting factor | معامل الموازنة |
| Weighting factor formula | معادلة معامل الموازنة |
| Whole body counter | عداد كل الجسم |
| Windscale accident | حادث مفاعل ونسكيل |
| Windscale fuel reprocessing plant | محطة ونسكيل لمعالجة الوقود النووي |
| Working conditions | ظروف العمل |
| World health organization | منظمة الصحة العالمية |
| X-ray crystallography | تصوير بلوري بالأشعة السينية |
| X-rays | أشعة سينية |
| Zinc sulphide detector | كشاف كبريتيد الخارصين |

obeikandl.com

## ملحق رقم ( 5 )

### قائمة بأسماء العناصر ورموزها

مرتبة حسب أعدادها الذرية (Atomic Number)

وهو عدد البروتونات في نواة العنصر

| Element | Symbol | العنصر | العدد الذري |
|---|---|---|---|
| Hydrogen | H | الهيدروجين | 1 |
| Helium | He | الهيليوم | 2 |
| Lithium | Li | الليثيوم | 3 |
| Beryllium | Be | البريليوم | 4 |
| Boron | B | البورون | 5 |
| Carbon | C | الكربون | 6 |
| Nitrogen | N | النيتروجين (الأزوت) | 7 |
| Oxygen | O | الأكسجين | 8 |
| Fluorine | F | الفلور | 9 |
| Neon | Ne | النيون | 10 |
| Sodium | Na | الصوديوم | 11 |
| Magnesium | Mg | المغنيسيوم | 12 |
| Aluminum | Al | الألمنيوم | 13 |
| Silicon | Si | السليكون | 14 |

obeikandl.com

| Phosphorus | P | الفوسفور | 15 |
|---|---|---|---|
| Sulfur | S | الكبريت | 16 |
| Chlorine | Cl | الكلور | 17 |
| Argon | Ar | الأرجون | 18 |
| Potassium | K | البوتاسيوم | 19 |
| Calcium | Ca | الكالسيوم | 20 |
| Scandium | Sc | السكانديوم | 21 |
| Titanium | Ti | التيتانيوم | 22 |
| Vanadium | V | الفاناديوم | 23 |
| Chromium | Cr | الكروم | 24 |
| Manganese | Mn | المنغنيز | 25 |
| Iron | Fe | الحديد | 26 |
| Cobalt | Co | الكوبلت | 27 |
| Nickel | Ni | النيكل | 28 |
| Copper | Cu | النحاس | 29 |
| Zinc | Zn | الخارصين (الزنك) | 30 |
| Gallium | Ga | الجاليوم | 31 |
| Germanium | Ge | الجرمانيوم | 32 |
| Arsenic | As | الزرنيخ | 33 |
| Selenium | Se | السلنيوم | 34 |

obeikandl.com

| Bromine | Br | البروم | 35 |
|---|---|---|---|
| Krypton | Kr | الكربتون | 36 |
| Rubidium | Rb | الروبيديوم | 37 |
| Strontium | Sr | السترونشيوم | 38 |
| Yttrium | Y | اليتريوم | 39 |
| Zirconium | Zr | الزركونيوم | 40 |
| Niobium | Nb | النيوبيوم | 41 |
| Molybdenum | Mo | الموليبدينوم | 42 |
| Technetium | Tc | التكنيشيوم | 43 |
| Ruthenium | Ru | الريوثينيوم | 44 |
| Rhodium | Rd | الروديوم | 45 |
| Palladium | Pd | البلاديوم | 46 |
| Silver | Ag | الفضة | 47 |
| Cadmium | Cd | الكادميوم | 48 |
| Indium | In | الإنديوم | 49 |
| Tin | Sn | القصدير | 50 |
| Antimony | Sb | الأنتيموني | 51 |
| Tellurium | Te | التلوريوم | 52 |
| Iodine | I | اليود | 53 |
| Xenon | Xe | الزنون | 54 |

obeikandl.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cesium | Cs | السيزيوم | 55 |
| Barium | Ba | الباريوم | 56 |
| Lanthanum | La | اللنثانوم | 57 |
| Cerium | Ce | السيريوم | 58 |
| Praseodymium | Pr | البراسوديميوم | 59 |
| Neodymium | Nd | النيوديميوم | 60 |
| Promethium | Pm | البروميثيوم | 61 |
| Samarium | Sm | الساماريوم | 62 |
| Europium | Eu | اليوروبيوم | 63 |
| Gadolinium | Gd | الجادولينيوم | 64 |
| Terbium | Tb | التيربيوم | 65 |
| Dysprosium | Dy | الدسبروسيوم | 66 |
| Holmium | Ho | الهولميوم | 67 |
| Erbium | Er | الإيربيوم | 68 |
| Thulium | Tm | الثوليوم | 69 |
| Ytterbium | Yb | التربيوم | 70 |
| Lutetium | Lu | الليوتيتيوم | 71 |
| Hafnium | Hf | الهافنيوم | 72 |
| Tantalum | Ta | التانتالوم | 73 |
| Tungsten | W | التنجستن | 74 |



obeikandl.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rhenium | Re | الرنيوم | 75 |
| Osmium | Os | الأزميوم | 76 |
| Iridium | Ir | الإريديوم | 77 |
| Platinum | Pt | البلاتين | 78 |
| Gold | Au | الذهب | 79 |
| Mercury | Hg | الزئبق | 80 |
| Thalium | Tl | الثاليوم | 81 |
| Lead | Pb | الرصاص | 82 |
| Bismuth | Bi | البزموث | 83 |
| Polonium | Po | البولونيوم | 84 |
| Astatine | At | الإستاتين | 85 |
| Radon | Rn | الرادون | 86 |
| Francium | Fr | الفرانسيوم | 87 |
| Radium | Ra | الراديوم | 88 |
| Actinium | Ac | الأكتينيوم | 89 |
| Thorium | Th | الثوريوم | 90 |
| Protoactinium | Pa | البروتوأكتينيوم | 91 |
| Uranium | U | اليورانيوم | 92 |
| Neptunium | Np | النبتونيوم | 93 |
| Plutonium | Pu | البلوتونيوم | 94 |



obeikandl.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ameriqium | Am | الأمريسيوم | 95 |
| Curium | Cm | الكوريوم | 96 |
| Berkelium | Bk | البركليوم | 97 |
| Californium | Cf | الكاليفورنيوم | 98 |
| Einsteinium | Es | الآينيشتينيوم | 99 |
| Fermium | Fm | الفيرميوم | 100 |
| Mendelevium | Mv | المندليفيوم | 101 |
| Nobelium | No | النوبليوم | 102 |
| Lowrencium | Lr | اللورنسيوم | 103 |

obeikandl.com

## ملحق رقم ( 6 )

## مراجع ذات علاقة بموضوعات الكتاب

### الفصل الأول والثاني:


- Blin-Stoyle, R. J. (1991) Nuclear and Particle Physics. London: Chapman & Hall.

- Jelly, N. A. (1990) Fundamentals of Nuclear Physics. Cambridge University Press.


### الفصل الثالث:


- Attix, F. H. (1986) Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Chichester: Wiley and Sons.


### الفصل الرابع:


- International Commission on Radiation Units and Measurements (1993) ICRU Report No. 51. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. Washington DC: ICRU.

- Schull, W. J. (1995) Effects of Atomic Radiation: A Half-Century of Studies from Hiroshima to Nagasaki. New York: Alan R. Liss, Inc.

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2000) Sources and Effects of Ionising Radiation. New York: United Nations.


### الفصل الخامس:


- Eisenbud, M. (1987) Environmental Radioactivity: From Natural, Industrial and Military Sources, 3rd edn. New York: Academic Press, Inc.

- Watson, S. J. et al. (2005) Ionising Radiation Exposure of the UK Population: 2005 Review, Health Protection Agency Report HPA-RPD-001. London: Health Protection Agency.


obeikandl.com

## الفصل السادس:

- International Commission on Radiological Protection (1991) Publication 60: Recommendations of the ICRP. London: Elsevier. See http://www.icrp.org

## الفصل السابع:

- Attix, F. H. (1986) Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Chichester: Wiley and Sons.

- Hallenbeck, W. H. (1994) Radiation Protection. Ann Arbor: Lewis.

## الفصل الثامن والتاسع:

- International Commission on Radiological Protection (1998) Publication 75. General Principles for Radiation Protection of Workers. London: Elsevier.

- International Commission on Radiological Protection (1994) Publication 67: Age-dependent Doses To Members of The Public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion Dose Coefficients. London: Elsevier.

- International Commission on Radiological Protection (1995) Publication 68: Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. London: Elsevier.

- International Commission on Radiological Protection Publication 72, Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5 - compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Annals of the ICRP, 26(1), 1996.

- International Commission on Radiological Protection (2003) Publication 89: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. London: Elsevier.

- The International Atomic Energy Agency (IAEA) is a major publisher in the fields of radiation protection and nuclear energy. The publications include standards and guides, technical reports and scientific reviews. See http://www.iaea.org

- International Atomic Energy Agency (1963) A Basic Toxicity Classification for Radionuclides. Technical Reports Series No. 15. Vienna IAEA.

- International Atomic Energy Agency (1976) Design of and Equipment for Hot Laboratories, IAEA Proceedings Series STI/PUB/436.

- International Atomic Energy Agency (1996) International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the safety of Radiation Sources. Vienna: IAEA.

## الفصل العاشر:

- Glasstone, S., Sesonske, A. (1994) Nuclear Reactor Engineering, 4th edn. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Shultis, J. K., Faw, R. E. (2000) Radiation Shielding. La Grange Park: American Nuclear Society.

## الفصل الحادي عشر:

- Bayliss, C., Langley, K. (2003) Nuclear Decommissioning, Waste Management and Environmental Remediation. Oxford: Butterworth-Heinman.

- International Atomic Energy Agency (1994) Classification of Radiactive Waste: A Safety Guide. Vienna: IAEA.

- Saling, J. H., (ed), Tang, Y. S., Fentiman, A London: Taylor and Francis.

## الفصل الثاني عشر والثالث عشر:

- Martin, C. J., Dendy, P. P., Corbett, R. H. (2003) Medical Imaging and Radiation Protection for Medical Students and Clinical Staff. London: British Institute of Radiology.

- Adler, A. M., Carlton, R. R. (1993) Introduction to Radiography and Patient Care. Philadelphia: W. B. Saunders.

- Merrick, M. V. (1997) Essentials of Nuclear Medicine. Berlin: Springer-Verlag.

## الفصل الرابع عشر:

- Organization for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency (1972) Nuclear Legislation. An Analytical Study of Regulations Governing Nuclear Installations and Radiation Protection. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

- Organization for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency (1980) Description of Licensing Systems and Inspection of Nuclear Installations. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

- Organization for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency (1990) Nuclear Legislation: Third Party Liability. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.

## الفصل الخامس عشر:

Brown, B. (1963) Experimental Nucleonics. London: Iliffe Books.

## الفصل السادس عشر:

- International Atomic Energy Authority (2002) Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. Safety Standards Series No. GS-R-2. Vienna: IAEA.

- International Commission on Radiological Protection (1984) Publication 63. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. London: Elsevier.

- مارتن وهاربسون (المدخل إلى الحماية الإشعاعية) الطبعة الثانية، ترجمة محمد بن إبراهيم الجارالله وعادل عبدالله الشويخ، الناشر دار الإصلاح، الدمام ـ السعودية 1405 هـ (1984م).

obeikandl.com

## ملحق رقم (7)

## كتب للمترجم

(1) محمد بن إبراهيم الجارالله (**غاز الرادون: استخداماته، مخاطره الإشعاعية، والحماية منه**) مكتبة العبيكان 2009/1430 م. مشروع محكم ومدعم من قبل عمادة الدراسات العليا بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن، الظهران.

(2) محمد بن إبراهيم الجارالله (**الإشعاع الذري: مصادره، استخداماته، مخاطره وطرق الوقاية منه**) الناشر شركة العبيكان للطباعة والنشر الرياض 1415 هـ. مشروع محكم ومدعم من قبل عمادة الدراسات العليا بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن، الظهران.

(3) محمد بن إبراهيم الجارالله (**الإشعاع الذري: تأثيراته، والحماية منه**) الناشر الدفاع المدني بالمملكة العربية السعودية، 1414 هـ. مدعم من قبل المديرية العامة للدفاع المدني بالمملكة العربية السعودية.

(4) (**تعليمات الوقاية من الإشعاعات المؤينة بوزارة الصحة**) إعداد محمد بن إبراهيم الجارالله وعبدالرحمن فؤاد وعلي بشطر وعبدالحميد أباالخيل وأشرف محمد الزهراني الناشر وزارة الصحة 1413 هـ. مشروع مدعم من قبل إدارة الصحة الوقائية بوزارة الصحة بالمملكة العربية السعودية.

(5) إرك هول (**الإشعاع والحياة**) ترجمة محمد بن إبراهيم الجارالله وعادل عبدالله الشويخ، الناشر الدار العربية للموسوعات لبنان 1403 هـ.

(6) محمد إبراهيم الجارالله (**الطرق المختلفة لقياس كالسيوم العظام في جسم الإنسان**) ترجمة أسعد عبدالله ومحمد بن إبراهيم الجارالله الناشر دار البحوث العلمية الكويت 1400 هـ.

(7) **(التأثيرات البيولوجية للإشعاع الذري على الإنسان)** إعداد محمد بن إبراهيم الجارالله الناشر جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، بالمملكة العربية السعودية 1990م.

(8) محمد بن إبراهيم الجارالله **(التأثيرات البيولوجية للإشعاع المؤين على الإنسان)** الناشر مكتبة الحرمين بالدمام، بالمملكة العربية السعودية 1986م.

obeikandl.com

obeikandl.com