الفصل الثالث

الإشعاع الذري الطبيعي والمصنع

٣ـ١ المصادر الطبيعية للإشعاع الذري:

٣ـ١ـ١ الأشعة الكونية.

٣ـ١ـ٢ النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية.

٣ـ١ـ٣ الإشعاع الطبيعي داخل جسم الإنسان.

٣ـ٢ المصادر المصنعة للإشعاع الذري:

٣ـ٢ـ١ المصادر الطبية.

٣ـ٢ـ٢ تجارب التفجيرات النووية.

٣ـ٢ـ٣ مفاعلات الطاقة الذرية.

٣ـ٢ـ٤ مصادر أخرى للإشعاع الذري المصنع.

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثالث

الإشعاع الذري الطبيعي والمصنع

الإشعاع الـذري موجـود قبل خلق الأرض بزمـن طويل . ولـه ثلاثـة مصادر رئيسة على الأرض هي :

أولاً: الأشعة الكونية : التي تغزو الأرض من الفضـاء الخارجي، ومعظمها ـ بحكمـة الله تعـالى ـ يصـد من قبـل الغـلاف الجـوي المحيط بـالأرض قبل وصوله .

ثانيـا : النشاط الإشعاعي في القشـرة الأرضية : حيث يـوجد ما يقـارب من الأربعين عنصرًا من العناصـر المشعة مثل : «البوتاسيوم ـ ٤٠» و«الـروبيديوم ـ ٨٧»، و«الراديوم ـ ٢٢٦»، و«اليورانيوم ـ ٢٣٨»، «والثوريوم ـ ٢٣٢» .

ثالثًا : الإشعاع الطبيعي داخل الجسم البشري : حيث يحصل الجسم على بعض العنـاصر المشعة طبيعيًـا عن طريق المـاء والغذاء الحـاويين على مثل تلك العناصر، بالإضافة إلى الهواء الذي نستنشقه .

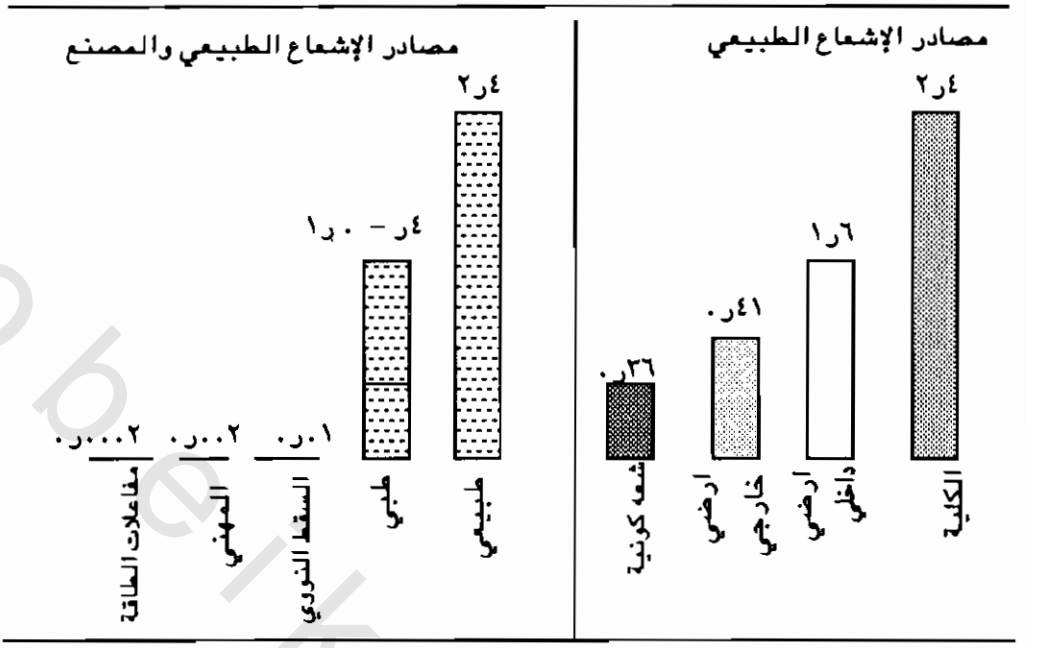
هذا بـالإضافة إلى مختلف صـور الإشعاع الذري المصنع الذي يتعـرض له الإنسان بطريقة أو أخرى .

ويقدر متوسط الجرعات الإشعاعيـة المكافئة التي يتعرض لها معظم البشر من المصادر الطبيعية بحوالي ٢,٤ ملي سيفيـرت في العام، مع تباين ملحوظ نظـرًا لتفاوت تلك الجـرعات الإشعـاعية تفـاوتًا كبيـرًا من منطقة إلى أخـرى، فهنـاك مناطق يتعـرض سكـانها إلى أضعـاف المتوسـط المذكـور للجرعـات الإشعـاعية المكـافئة، ولم تظهـر الدراسـات الإحصائيـة الأولية حتى الآن أيـة زيادة أو تغير في نسبـة أو نوعية الأمراض التي يمكن أن تصيـب هؤلاء السكان

دون غيرهم. ولكن مثل هذه الدراسات تحتاج إلى سنين طويلة لمراقبة السكان، قبل أن نجزم بعدم وجود أية تأثيرات صحية للجرعات الإشعاعية المكافئة عالية المتوسط.

بعد اكتشاف ظاهرة الإشعاع الذري واستخدامها في المجالات المختلفة ازدادت الجرعات الإشعاعية المصنعة التي يتعرض لها الإنسان عن تلك التي يتعرض لها طبيعيًّا، كما أن كثرة استخدام الإنسان الطائرات النفاثة قد رفع الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها المسافرون نتيجة ازدياد تعرضهم للأشعة الكونية أثناء الطيران في مستويات جوية مرتفعة نسبيًّا حيث يقل فيها سمك الغلاف الجوي الواقي من تلك الإشعاعات الكونية. كذلك فإن التجارب التي أجريت فوق سطح الأرض على القنابل الذرية [النووية] في الخمسينات وأوائل الستينات (في الفترة من ١٩٥٤ إلى ١٩٦٢م، ١٣٧٤هـ إلى ١٣٨٢هـ) قد زادت من الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها البشر نتيجة تساقط الغبار الذري. ومن الجدير بالذكر أن استعمال الإشعاع في التشخيص أيضًا، وبخاصة صور الصدر والأسنان يعد من أكبر مصادر الإشعاع المصنع تأثيرًا في زيادة الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها البشر عمومًا، إذ تقدر بحوالي ٠,٢ ملي سيفيرت سنويًّا، بينما يقدر مجموع الجرعات من المصادر المصنعة إجمالاً ومن ضمنها التشخيص ـ بحوالي ٠,٨ ملي سيفيرت في العام.

ومع هذا تظل المصادر الطبيعية هي أكبر مصادر تعرض البشر للإشعاع الذري كما هو موضح في الشكل (٣ ـ ١)، وسنتحدث عن المصدرين، الطبيعي والمصنع، للإشعاع الذري بتفصيل أكبر فيما يلي.



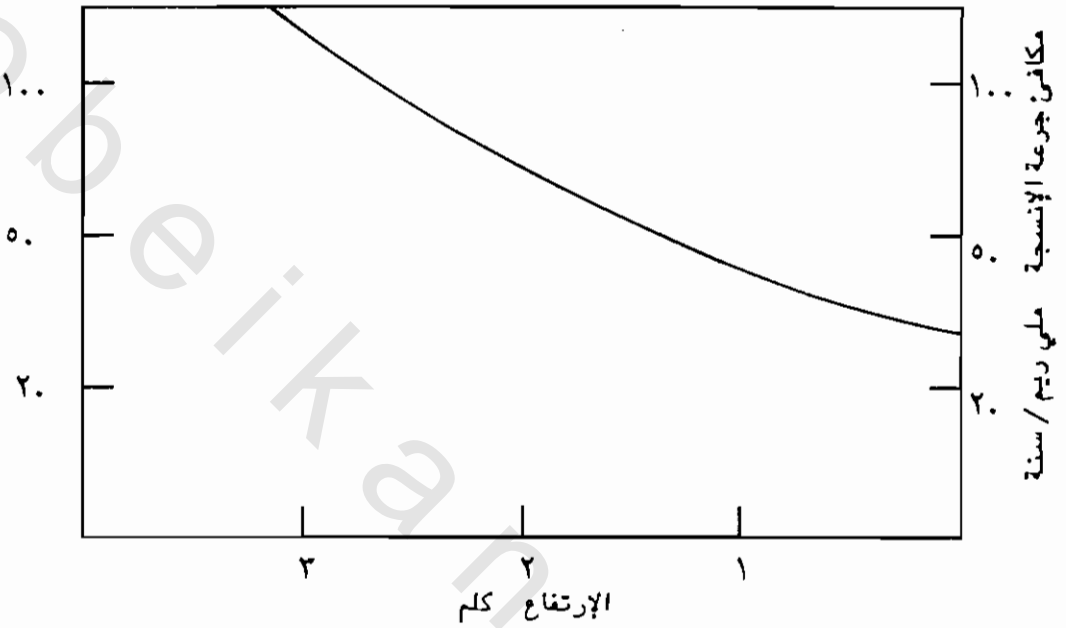
شكل (٣ ـ ١) معدل الجرعة السنوية المؤثرة [بوحدات الملي سيفرت] من المصادر الطبيعية والمصنعة (٤).

٣ ـ ١ المصادر الطبيعية للإشعاع الذري:

٣ ـ ١ ـ ١ الأشعة الكونية (٤):

تمثل الأشعة الكونية أقل قليلاً من نصف الجرعة الإشعاعية الطبيعية القادمة من خارج جسم الإنسان، والمصدر الرئيسي لهذه الأشعة ناتج عن الحوادث النجمية في الفضاء الكوني البعيد، ومنها ما يصدر عن الشمس خاصة خلال التوهجات الشمسية التي تحدث مرة أو مرتين كل ١١ سنة، مولدة جرعة إشعاعية كبيرة إلى الغلاف الغازي للأرض وتنزل إلى مستوى ارتفاع الطائرات النفاثة [٥٠٠٠ متر أو أكثر]. وتتكون هذه الأشعة الكونية من ٨٧٪ من البروتونات و ١١ من جسيمات ألفا، وحوالي ١٪ من النوى ذات

العدد الذري بين ٤ و ٢٦ وحوالي ١٪ من الإلكترونات ذات طاقة عالية جدًا[٥] وهذا ما تمتاز به الأشعة الكونية، لذلك فإن لها قدرة كبيرة على الاختراق. كما أنها تتفاعل مع نوى ذرات الغلاف الجوي مولدة بذلك إلكترونات سريعة وأشعة جاما، ونيوترونات وميزونات.



شكل (٣ ـ ٢) ازدياد الجرعة الإشعاعية للأشعة الكونية مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر (٥)

لا يستطيع أحد تجنب الأشعة الكونية، ولكن شدتها على سطح الأرض تتباين من مكان إلى آخر، فالقطبان يتعرضان لنسبة أكبر منها مقارنة بالمنطقة الاستوائية؛ لأن المجال المغناطيسي الأرضي يغير اتجاه هذه الأشعة المتأينة القادمة من الفضاء الخارجي ويقوم بتقميعها باتجاه القطبين. كما أن الأشعة الكونية تزداد تدريجيًّا مع الارتفاع عن سطح البحر حيث يقل سمك الغلاف الجوي الواقي، فالجرعة الإشعاعية من الأشعة الكونية تتضاعف كلما ازداد الارتفاع عن سطح البحر بمقدار ٢ كلم، وتطَّرد هذه الزيادة باستمرار مع

الارتفاع كما هو موضح في الشكل (٣ ـ ٢).

يتعرض الذين يعيشون عند مستوى سطح البحر إلى معدل جرعة من الأشعة الكونية مقدارها ٣٦ , ٠ ملي سيفيرت تقريبًا، كما أن السفر في الطائرة يزيد من تعرض المسافرين للأشعة الكونية خاصة طاقم الطائرات النفاثة التي تطير على ارتفاع يصل إلى ٥ كلم أو أكثر. أما الطائرات التي تسير بسرعة تزيد على سرعة الصوت مثل الكونكورد والتي تطير على ارتفاع حوالي ١٥ كلم فإن التعرض للأشعة الكونية سيكون أكبر إلا أن زمن الرحلات فيها أقل نظرًا لسرعتها الفائقة، مما يجعل الجرعة الكلية التي يتعرض لها من فيها أقل، ويمكن القول إن الجرعة الإشعاعية تزداد في حدود ٠٠٤ , ٠ ملي سيفيرت لكل ساعة طيران.

٣ ـ ١ ـ ٢ النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية:

إن من أهم العناصر المشعة في صخور القشرة الأرضية هي «البوتاسيوم ـ ٤٠» و«الروبيدوم ـ ٨٧» وسلسلتا العناصر المشعة المتولدة من تحلل «اليورانيوم ـ ٢٣٨» و«الثوريوم ـ ٢٣٢». وهناك ما يقارب الأربعين من النظائر المشعة. وأعمار النصف للعناصر المشعة الأساسية في صخور القشرة الأرضية طويلة جدًا، لهذا بقيت في الأرض إلى الآن منذ خلقها، فعمر النصف «للبوتاسيوم ٤٠» يزيد على ألف مليون سنة، وعمر نصف «الروبيدوم ـ ٨٧» يزيد على أربعين ألف مليون سنة! وهذه النظائر المشعة تبعث أنواعًا مختلفة من الإشعاع الذري كجسيمات بيتا وألفا وأشعة جاما.

إنَّ مستوى النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية متقارب جدًّا في معظم الأماكن، حيث لا يوجد اختلاف يذكر من مكان وآخر بصفة عامة. ويقدر معدل الجرعة الإشعاعية المكافئة من هذه المصادر بمقدار ٣٥ , ٠ ملي سيفيرت بالسنة، إلا أن هناك أماكن على الأرض يزداد فيها الإشعاع

الطبيعي بشكل كبير نتيجة وجود تركيزات عالية من العناصر المشعة طبيعيًّا في صخور القشرة الأرضية . ففي البرازيل مثلاً اكتشفت مناطق ذات إشعاعية طبيعية عالية جدًّا تصل الجرعة الإشعاعية فيها إلى ٢٥٠ ملي سيفرت بالسنة في منطقة تقع شمال العاصمة ساوباولو على مسافة ٢٠٠ كلم، وفي مدينة كورابري الصغيرة وجدت مواضع في ساحلها سجلت فيها جرعة إشعاعية قدرها ١٧٥ ملي سيفرت بالسنة . أما في الشوارع فقد سجلت جرعة أقل ومقدارها ١٥ ملي سيفرت بالسنة . وفي الجنوب الغربي من الساحل الهندي حيث يسكن حوالي سبعين ألفًا من البشر على امتداد أكثر من خمسين كيلومترًا وجد أن معدل الجرعة الإشعاعية هي ٣,٩ ملي سيفرت بالسنة تقريبًا، وأما السبب الرئيسي لهذه الإشعاعية العالية في تلك المناطق بكل من البرازيل والهند فهو وجود الثوريوم الخام بتراكيزات عالية في تلك المناطق .

كذلك فقد وجدت مناطق ذات إشعاعية عالية أيضًا في كل من الصين و إيران وفرنسا ومدغشقر ونيجيريا ومصر والجابون .

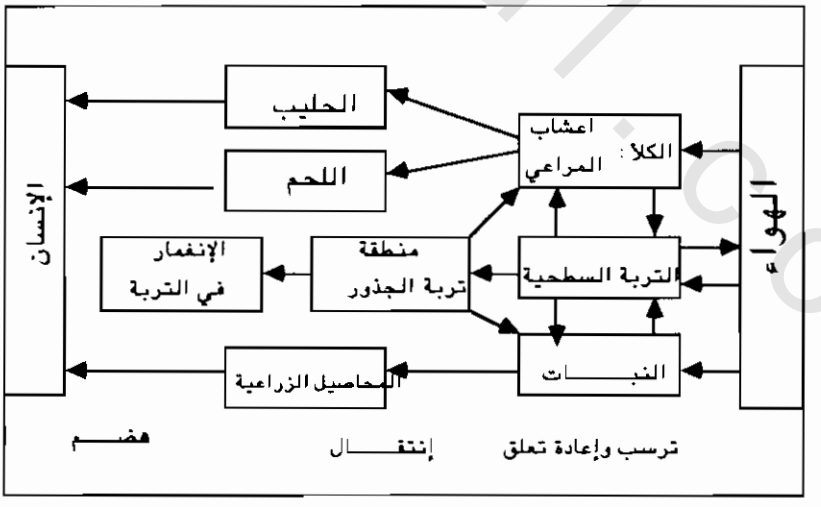
٣ ـ ١ ـ ٣ الإشعاع الطبيعي داخل جسم الإنسان:

يشع جسم الإنسان من الداخل عن طريق كل من الهواء الذي يتنفسه والغذاء والماء الذي يصل إلى جوفه، فالهواء هو المصدر الرئيس للجرعة الإشعاعية الطبيعية التي تصل إلى داخل جسم الإنسان ومصدرها الأساسي غاز الرادون الموجود في جو الأرض والمتولد عن التحلل التلقائي لنظير «اليورانيوم ـ ٢٣٨» الموجود طبيعيًّا في صخور قشرة الأرض، ونظرًا لأهمية مشاركة الرادون في الجرعة الإشعاعية الطبيعية التي يتعرض لها الإنسان فقد أفرد له الفصل الرابع .

وكذلك فإن كلا من الغذاء الذي يتناوله الإنسان والماء الذي يشربه يحتوي

على نسب متفاوتة من المواد المشعة . والمصدر الرئيس لتلك المواد المشعة في النبات هو التربة التي تمتص منها النباتات تلك المواد مع غيرها من المواد الطبيعية فتدخل في بنائها . كما أن بعض الغبار الذي يتساقط على النبات يحوي آثارًا من تلك المواد المشعة ، وتصل المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان عن طريق تناوله النباتات أو لحوم الحيوانات التي تتغذى على النباتات . وتدخل المواد المشعة أيضًا مع الماء الذي نشربه حيث تحتوي المياه على آثار قليلة جدًّا منها وبخاصة «الراديوم ـ ٢٢٦» ، لذا تكون أجسامنا مشعة قليلاً من الداخل نظرًا لوجود بعض العناصر المشعة فيها مثل «البوتاسيوم ـ ٤٠» و «الكاربون ـ ١٤» . وبعض النظائر المشعة المتولدة عن تحلل «اليورانيوم ـ ٢٣٨» مثل «الراديوم ـ ٢٢٦» و«الرصاص ٢١٠» و«البولونيوم ـ ٢١٠» وهي أهم من النظائر المشعة لكل من البوتاسيوم والكاربون .

وتسلك المواد المشعة ـ عادة ـ طرقًا معقدة قبل دخولها جسم الإنسان ، وتستخدم هذه الطرق لتقدير الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الناس من كل واحد من هذه المصادر.



شكل (٣ – ٣) : الطرق التقليدية لوصول المواد المشعة من البيئة إلى الإنسان (٤)

٣ ـ ٢ المصادر المصنعة للإشعاع الذري:

منذ اكتشاف ظاهرة الإشعاع في مطلع هذا القرن قام الإنسان بتحضير المئات من النظائر المشعة صناعيًّا، كما استطاع تسخير الطاقة الذرية في العديد من المجالات الطبية والزراعية والصناعية والعسكرية، ومجالات إنتاج الطاقة الكهربائية وغيرها. كل ذلك زاد من تعرض البشر للإشعاع[٤].

وهناك تفاوت كبير في الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الأفراد من المصادر المصنعة، فالعاملون في بعض المجالات التي تستخدم المصادر المصنعة للإشعاع الذري يتوقع تعرضهم لجرع إشعاعية تبلغ عشرات أضعاف معدل الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها عموم الناس، كما أن المرضى الذين يعالجون بالإشعاع يعرضون إلى جرعات إشاعية كبيرة جدًّا، وسنتحدث فيما يلي عن أهم مصادر الإشعاع المصنع.

٣ ـ ٢ ـ ١ المصادر الطبية:

تعد التطبيقات الطبية لمصادر الإشعاع الذري المصنع أكبر المصادر التي تعرض الإنسان للإشعاع في الوقت الحاضر. فالإشعاع بأنواعه يستخدم في كل من التشخيص والعلاج، فلقد أصبحت الأشعة السينية من أنجح الأدوات في تشخيص الكثير من الأمراض والإصابات، ففي بلد مثل بريطانيا على سبيل المثال لا الحصر يجرى سنويًّا حوالي ٥٠٠ فحص باستخدام الأشعة السينية لكل ١٠٠٠ شخص، في حين يبلغ عدد الفحوصات السنوية الكلية ٣٦ مليون[٦]! ويقدر مجموع الفحوصات الإشعاعية التي تجري سنويا في العالم بأكثر من ١٤٠٠ مليون فحص[٤]!

تستخدم النظائر المشعة وبشكل متزايد اليوم في الفحوصات الطبية، وذلك في مجال الطب النووي، حيث يعطى المريض النظير المشع المناسب

عن طريق الوريد عادة فيصل إلى العضو المراد دراسته، والذي يمكن فحصه عن طريق كشف أشعة جاما التي يطلقها النظير المشع من داخل العضو، ولقد ازدادت فحوصات الطب النووي في العقدين الماضيين ولكنها لا تزال أقل بكثير من استخدامات الأشعة السينية، كما تعطى النظائر المشعة كذلك بمقادير أكبر لأغراض علاجية كما في علاج الغذة الدرقية (انظر الفصل السادس).

ويستخدم الإشعاع في علاج الأورام السرطانية على هيئة حزمة من أشعة جاما أو الأشعة السينية حيث توجه نحو النسيج السرطاني المراد قتله عبر اتجاهات مختلفة لتقليل الجرعة الإشعاعية التي تتعرض لها الأنسجة الصحيحة التي تكون في مسار تلك الأشعة.

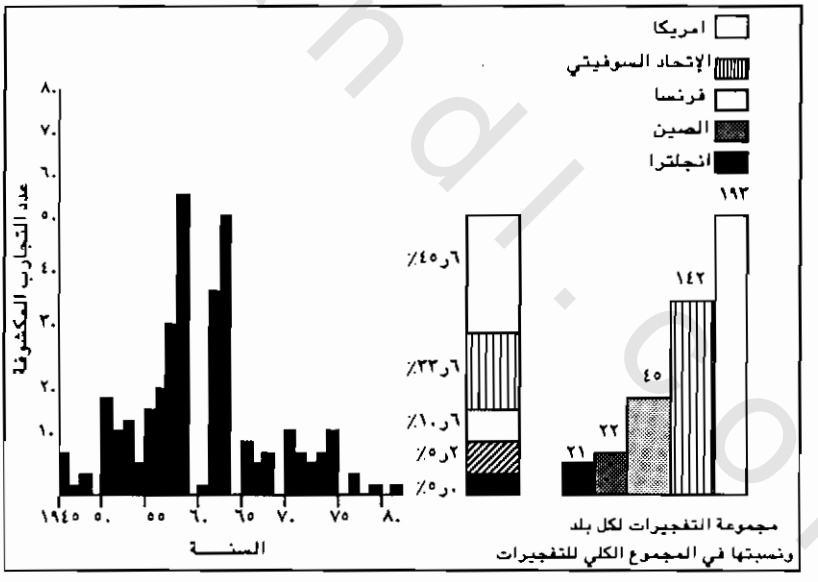
يقدر معدل الجرعة الإشعاعية من المصادر الطبية بحوالي ٤,٠ ملي سيفرت، على الرغم من أن اللجنة العلمية للأمم المتحدة المختصة بتأثيرات الإشعاع الذري (اليونسير) ترى إمكانية أن تكون الجرعة الإشعاعية أكثر من ذلك.

ومع أن استخدام الدول النامية للأشعة السينية في الفحوصات الإشعاعية يقل كثيرًا عن الدول الصناعية إلا أن الجرع الإشعاعية للفحص الواحد قد تزيد ١٠ إلى ٢٠ ضعفاً على مثيلاتها في الدول الصناعية لنفس الفحص؛ وذلك لأن هناك الكثير من أجهزة الأشعة السينية معيبة أو قديمة في الدول النامية والتي تعرض المريض لجرع كبيرة. كذلك فإن الفحص اللصافي (FLUROSCOPY) يستخدم على نطاق واسع في الدول النامية ـ والذي يمكن أن يعطي خمسة عشر ضعفًا أكثر من جرعة الفحص الإشعاعي الاعتيادي ـ وعلى ذلك فإن متوسط معدل الجرعة الإشعاعية في العالم قد يصل إلى واحد ملي سيفرت سنويًا[٤].

أمـا في حالـة المستخدمين لـلإشعاع في المجـال الطبي والذين قـد يصل عددهم إلى عـدة ملايين فإنهم يتعرضـون لجرع أكبر من الإشعاع تفـوق معدل تعرض بقية الناس وذلك بحكم عملهم .

٣ ـ ٢ ـ ٢ تجارب التفجيرات النووية[٤]:

تعرض الناس منذ أوائل الخمسينات من هذا القرن إلى الإشعاعات المتولدة نتيجة تجـارب تفجيرات الأسلحة النوويـة التي أجريت على سطح الأرض من قبل كل من أمريكا وروسيا وبريطانيـا وفرنسا والصين والهند والكيان الصهيوني المحتل لأرض فلسطين، والكيـان العنصـري في جنـوب أفـريقيـا . ولهـذه التجـارب ذروتان كـانت الأولى بين عام ١٩٥٤م و١٩٥٨م والثـانية في عـامي ١٩٦١ و١٩٦٢ . وفي الوقت الـذي تشكل أمريكـا فيه المصدر الـرئيس لهذه التفجيرات شكل الاتحاد السوفيتي السابق المصدر الثاني لتلك التفجيرات .



شكل (٣ - ٤) عدد التفجيرات النووية التجريبية المكشوفة خلال السنوات ومشاركة كل دولة فيها (٤) .

وفي عـام ١٩٦٣م وقعت كل من أمـريكـا والاتحـاد السـوفيتي السـابق وبريطانيا اتفاقية لوقف تجارب الأسلحة النووية في الفضاء نتيجة ازدياد اهتمام العالم بمخاطـر السقط النووي ـ الناتج عن تلك التفجيـرات ـ على البيئة . إلا أن كلا من فـرنسا والصين استمر في إجراء تلك التجـارب على نطاق ضيق ثم توقفتـا عن ذلك عـام ١٩٨٠م . ومنذ ذلك الحين وتجـارب الأسلحة النـووية تجري تحت سطح الأرض في محاولة لمنع تلوث البيئة .

إنَّ بعض الحطـام المشع لتجـارب التفجيرات النـوويـة في الفضـاء يسقط قـريبًا من مـوقع التفجير والبعض الآخـر ينقل إلى طبقات الجـو منتشرًا حـول الكرة الأرضيـة ومتساقطًـا على فترات متباينـة في المناطق المختلفـة، ويزداد السقط كلما ازداد قرب الموقع من منطقة التفجير. وأول سقط نووي حدث بعد تفجير أجري عام ١٩٤٥م في نيومكسيكو بأمريكا إذ سقطت بعض الجزيئات الكبيـرة من المـواد المشعة على الأبقـار التي كـانت تـرعى على بعـد ٣٠ كلم مولدة حروقًا جلدية لها . أمـا الجزيئات الصغيرة من مواد الانفجار المشعة فقد دفعتها الـرياحُ عبر الـوسط الغربي لأمـريكا وسقطت كميات كبيـرة منها على إنديانيـا ـ على بعد حوالي ٢٠٠٠ كلم من منطقة التفجيـر بحيث لوثت سيقان الذرة التي استخدمت فيما بعد لصنـاعة ورق استعمل في تغليف أفلام الأشعة السينية فأتلفها(٥) .

يحتوي السقط النـووي على عدة مئـات من النويـدات المشعة التي تتـولد معظمهـا بتركيـزات منخفضـة جدًّا أو أنهـا تتحلل بسـرعة، إلا أن هنـاك أربع نويـدات ذات مشاركـة كبيرة فـي الجرعة الإشعـاعية وهـي «الكاربـون ـ ١٤» و«السيـزيوم ـ ١٣٧» و«الزركـونيوم ـ ٩٥» و«السترونشيـوم ٩٠» مرتبـة حسب مشاركتها . وتختلف هذه النظائر المشعة في أعمار أنصافها، فالزركونيوم عمر نصفه ٦٤ يـومًا والسيزيـوم مع السترونشيـوم لهما عمر نصف مقـداره ٣٠ سنة

تقريبًا، أما الكربون ـ ١٤ فعمر نصفه ٥٧٣٠ سنة، لهذا فإن الجرعة الإشعاعية الناتجة عن هذه النظائر تحدث على فترات متباينة.

والجرعة الإشعاعية السنوية من هذا المصدر الإشعاعي مرتبطة بعدد ومقدار التفجيرات النووية السنوية. . فقد كانت توازي ٧٪ من الجرعة المكافئة للإشعاع الطبيعي في عام ١٩٦٣م وتناقصت إلى ٢٪ عام ١٩٦٦ وإلى ١٪ في أوائل الثمانينات. ويتوقع أن يستمر هذا التناقص إذا لم تجر تجارب جديدة في الفضاء.

٣ ـ ٢ ـ ٣ مفاعلات الطاقة الذرية:

يشكل «نظير اليورانيوم ـ ٢٣٥» المصدر الرئيس للطاقة الذرية وهو يمثل سبعة بالألف فقط من اليورانيوم الطبيعي الذي يشكل نظير «يورانيوم ـ ٢٣٨» معظمه، وهو غير قابل للانشطار إلا أنه يمكن تخصيبه أي جعله قابلاً للانشطار وذلك بامتصاصه نيوترون فيتحول إلى نظير «بلوتونيوم ـ ٢٣٩»، وكذلك الحال بالنسبة «للثوريوم ـ ٢٣٢» الذي يتحول إلى «اليورانيوم ـ ٢٣٣» القابل للانشطار.

وتبلغ مشاركة مفاعلات الطاقة الذرية ١٧٪ من مجموع مختلف مصادر الطاقة في العالم، ينتجها ٤٢٣ مفاعلاً في ٢٥ بلدًا وذلك حسب إحصاءات عام ١٩٩٠م (انظر الفصل الخامس). وتطلق مفاعلات الطاقة الذرية هذه كميات قليلة من المواد المشعة إلى البيئة بصورة مستمرة عن طريق كل من الهواء والماء.

ومحطات الطاقة الذرية ما هي إلا جزء في دورة الوقود النووي، التي تبدأ بالتنقيب عن اليورانيوم، ثم جرش خاماته لتنظيفها وتنقيتها من الشوائب، ثم تخصيبه لصنع الوقود النووي. كما أن الوقود المستهلك إما أن يحفظ في مراكز خاصة أو يعالج لاستخلاص اليورانيوم غير المستهلك والبولوتونيوم

المتولد، وتحفظ المخلفات النووية في أماكن خاصة وفي كل مرحلة من هذه المراحل ينبعث قدر قليل من المواد المشعة. وهناك، اختلاف كبير في مقدار المواد المشعة المحررة في كل عملية تبعًا للمحطة، ويمكن القول عمومًا إنه كلما ابتعد الإنسان من موقع المنشأة كلما قل تعرضه للإشعاع الذي تطلقه.

والحوادث النووية لها مشاركة أكبر بكثير في التعرض الإشعاعي، وبخاصة حادث تشرنوبل الذي كان المتضرر الأكبر منه الاتحاد السوفيتي سابقًا، حيث كانت حصته من الجرعة الكلية المؤثرة للحادث ٣٦٪ بينما تعرضت أوربا إلى ٥٣٪ وآسيا إلى ٨٪ وأفريقيا إلى ٢٪ [٤] كما أن نقل المواد المشعة يزيد من التعرض للإشعاع بنسبة قليلة.

والعاملون في الصناعة النووية الذين يقدر عددهم بمئات الآلاف يتعرضون لجرع أكبر من الإشعاع الذري بحكم عملهم.

٣ ـ ٢ ـ ٤ مصادر أخرى للإشعاع الذري المصنع[٤].

هناك بعض المنتجات الاستهلاكية التي تحتوي على مواد مشعة قد تعرض الناس للإشعاع دون وعي منهم. ومن أهم هذه المصادر الساعات المضيئة بأنواعها ـ اليدوية والمنضدية والجدارية ـ والتي تحتوي على الراديوم المشع، وتكثر هذه الساعات المضيئة في العالم، ففي المملكة المتحدة وحدها كانت هناك ٨٠٠,٠٠٠ ساعة راديوم حتى نهاية السبعينات، وتجري حاليًا محاولات لاستبدال الراديوم بكل من التريتيوم و «البرومثيوم ــ ١٤٧» حيث الجرعة أقل بكثير.

وتستخدم النظائر المشعة في إشارات المخارج وفي البوصلات وفي كواشف الحريق على نطاق واسع جدًا في مختلف أنحاء العالم، وذلك في المصانع والمكاتب والمساكن، إذ يقدر عددها بمئات الملايين وتحتوي معظم هذه الكواشف على كميات قليلة من النظير «امريسيوم ــ ٢٤١»

المشع، إلا أنها آمنة في الاستخدامات الطبيعية، كما تستخدم النظائر المشعة كذلك في المشغلات (STARTERS) لأنوار النيون وفي بعض الأدوات الكهربائية، إلا أن هذه الأدوات يمكن أن نقول عنها إنها آمنة إلا إذا كسرت، وتسربت منها المادة المشعة.

يستخدم اليورانيوم اعتياديًّا في عمل الأسنان الصناعية لجعلها لامعة، ويمكنه أن يشعع أنسجة الفم أيضًا، وقد حددت الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا اللتان تصنعان معظم بورسلان الأسنان مقدار تركيز اليورانيوم فيه.

تتولد الأشعة السينية داخل أجهزة التليفزيون الملون ولو أن مقدار ما تشعه الأجهزة الحديثة من تلك الأشعة قليل، ومع هذا يفضل الابتعاد مترين على الأقل عن هذه الأجهزة أثناء مشاهدتها. أما عن استعمال الأشعة السينية في فحص أمتعة ركاب الطائرات فإن المتسرب منها قليل جدًّا.