الفصل العاشر
التلوث الإشعاعي

النظائر المشعة Radioactive Isotopes :

هى عبارة عن نيوكلونات Nucleons مشعة، وهى ذرات نفس العناصر بنفس الرقم الذرى (عدد البروتونات فى النواة وهو مساو لعدد الكترونات المدارات) لكنها متباينة عنها فى الكتلة الذرية (مجموع عدد البروتونات وعدد النيترونات فى النواة)، لذا فإنها تبعث أنواعا من أشعة خاصة متميزة، وهى مفيدة خاصة فى الكيمياء الحيوية التحليلية. ويكتب الرمز للعنصر المشع عادة وأعلاه الوزن (الكتلة) الذرى وأسفله الرقم (العدد) الذرى.

وفيما يلى بيانات طبيعية لبعض النظائر المستخدمة بكثرة:

العنصر	الرمز	نصف العمر	أشعة بيتا	أشعة جاما
كالسيوم	^{45}Ca	١٦٥ يوما	+	−
كاربون	^{14}C	٥٧٦٠ سنة	+	−
كلور	^{36}Cl	٣ × ١٠ ^ ٥ سنة	+	−
كوبلت	^{60}Co	٥,٢٦ سنة	+	+
هيدروجين	^{3}H	١٢,٢ سنة	+	−
يود	^{125}I	٦٠ يوما	مصيدة الكترونات	+
يود	^{131}I	٨,٠٤ يوم	+	+
حديد	^{59}Fe	٤٥ يوما	+	+
ماغنسيوم	^{28}Mg	٢١,٤ ساعة	+	+
نيتروجين	^{13}N	٦٠٠ ثانية	بوزيترون	+
فوسفور	^{32}P	١٤,٣ يوما	+	−
بوتاسيوم	^{40}K	١٠ ^ ٩ سنة	مصيدة الكترونات	+
بوتاسيوم	^{42}K	١٢,٤ ساعة	+	+
صوديوم	^{22}Na	٢,٦ سنة	بوزيترون	+
صوديوم	^{24}Na	١٥ ساعة	+	+
كبريت	^{35}S	٨٧,٢ يوما	+	−

وتستخدم النظائر فى الكيمياء الحيوية بكميات قليلة، وتسلك لحد كبير جدا نفس سلوك العناصر غير المشعة من حيث الوظيفة والمتيابوليزم وغيره، لكنها تتميز بسهولة تتبع وتقدير الآثار البسيطة المشعة فى جسم الحيوان وأعضائه وسوائله كما فى تقدير الفوسفور ٣٢ فى الأحماض النووية ودراساتها مثلا، كما تستخدم فى التشخيص والعلاج وفى الزراعة والصناعة والبحوث. وجميع نوايا الذرات ذات العدد الأكبر من ٨٢ تتميز بالنشاط الإشعاعى لزيادة عدد البروتونات فى النواة مما يجعل قوة التنافر الكهروستاتيكى كبيرة، فيؤدى هذا التنافر إلى انحلال الأنوية حتى تستقر حالتها.

ويتوقف **نصف عمر** Half Life (الزمن اللازم لانحلال نصف عدد الذرات المتواجدة فى بداية الإشعاع لمادة معينة) العنصر المشع على نشاطه الإشعاعى، أى على عدد الذرات غير الثابتة فى العينة، ويقل النشاط الإشعاعى باطراد بمرور الزمن لوجود علاقة عكسية خطية بين النشاط (التحلل) والزمن. كما يتأثر النشاط الإشعاعى بالارتفاع عن سطح البحر، فقد قدر السيزيوم فى هواء أوربا فكان النشاط الإشعاعى له مساويا:

على سطح الأرض	٢
على ارتفاع ١٠ كيلو مترات	٢٠
على ارتفاع ١٥ كيلو مترا	١٢٠
على ارتفاع ٢٠ كيلو مترا	٤٠٠
بينما على ارتفاع ٣٠ كيلو مترا	صفر

والنظائر بطيئة التحلل يطول نصف عمرها كاليورانيوم ($٤,٣٧ \times ١٠^{٩}$ سنة) والراديوم (١٥٦٠ سنة). بينما عناصر أخرى سريعة التحلل قد يصل نصف عمرها جزء من الثانية. ولكل عنصر من العناصر عدد من النظائر قد يصل إلى أكثر من خمسين نظير للعنصر الواحد، ولا توجد كل النظائر فى الطبيعة فبعضها (١٣٠٠ نظير) يمكن أن يخلق صناعيا بواسطة المفاعلات النووية [لقذف النظائر المستقرة بأنواع من الجسيمات النووية مثل الفا، بروتونات، نيوترونات، أشعة جاما].

ويعرف **النشاط الإشعاعى** بأنه عدد الانحلالات التى تحدث فى الثانية الواحدة، أى يقدر بوحدات التحلل/ثانية، ثم اتخذت بعد ذلك وحدة أساسية هى الكيورى Curie (Ci) (نسبة إلى العالمة البولندية مارى كورى) والتى تعتمد على نشاط ١ جم من الراديوم ٢٢٦ الذى يعطى $٣,٧ \times ١٠^{١٠}$ ومضة (انحلالة)/ثانية Transformations Per Second ، فالكيورى على ذلك يعرف بأنه كمية النظير المشع النشط الذى يعطى $٣,٧ \times ١٠^{١٠}$ ومضة/ثانية Disintegrations. وبإدخال النظام القياسى SI للوحدات أصبح البكويريل Becquerel (B_q) (نسبة إلى العالم الفرنسى هنرى بكويريل) هو الوحدة

المستخدمة وهى تساوى ومضة (أو تحلل) نووية/ثانية $1\ B_q = 2.7 \times 10^{-11}$ Ci
أو $1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ B_q$ ٠

أما النشاط النوعى للنظير فهو يشير إلى الكمية النسبية للذرات النشطة إشعاعيا فى العينة، والنشاط/وحدة وزن أو حجم يحسب بالبكوريريل/جم ($B_q\ g^{-1}$) أو المليكورى/جم ($m\ Ci\ g^{-1}$) ، وعلى ذلك فإن:

ميللى كيورى	= ٣,٧ × ١٠ ^{٧}	انحلال/ثانية	= ١٠ $^{-٣}$ كيورى
ميكروكيورى	= ٣,٧ × ١٠ ^{٤}	انحلال/ثانية	= ١٠ $^{-٦}$ كيورى
نانوكيورى	= ٣,٧ × ١٠	انحلال/ثانية	= ١٠ $^{-٩}$ كيورى
بيكو كيورى	= ٣,٧ × ١٠ $^{-٢}$	انحلال/ثانية	= ١٠ $^{-١٢}$ كيورى

ميجاكيورى M Ci = ١٠ ^{٦} كيورى = ٣٧ بيتا بيكوريريل $P\ B_q$ = ٣,٧ × ١٠ ^{١٦} بيكوريريل

كيلو كيورى K Ci = ١٠ ^{٣} كيورى = ٣٧ تيرا بيكريل $T\ B_9$ = ٣,٧ × ١٠ ^{١٣} بيكوريريل

كيورى = ٣٧ جيجا بيكوريريل $G\ B_q$ = ٣,٧ × ١٠ ^{١٠} بيكوريريل

ميللى كيورى m Ci = ١٠ $^{-٣}$ كيورى = ٣٧ ميجا بيكوريريل = ٣,٧ × ١٠ ^{٧} بيكوريريل

ميكروكيورى μ Ci = ١٠ $^{-٦}$ كيورى = ٣٧ كيلو بيكوريريل = ٣,٧ × ١٠ ^{٤} بيكوريريل

بيكوكيورى p Ci = ١٠ $^{-١٢}$ كيورى =٣٧ميللى بيكوريريل = ٣,٧ × ١٠ $^{-٢}$ بيكوريريل

ولقياس **جرعة طاقة الإشعاع** (كما فى معاملة الأغذية للحفظ والتعقيم مثلا) أو الجرعة الممتصة فيعبر عنها بوحدة الراد Rad (اختصار للحروف الأولى لجرعة الإشعاع الممتصة Radiation Absorbed Dose) وهى جرعة الطاقة للإشعاع (فى أى وسط) بعد امتصاص ١٠٠ إرج/جم من المادة، أى تساوى ١٠ $^{-٥}$ جول/جم من المادة (حيث إن الإرج Erg = ١٠ $^{-٧}$ جول) أو ١٠ $^{-٥}$ وات ثانية/جم من المادة، بينما الوحدة الدولية للقياس (للجرعة الممتصة، أى كمية الأشعة الغنية بالطاقة التى امتصتها السلعة) تسمى بالجاى (جراى) Gray (Gy) وهى تساوى ١ جول/كجم ، أى كمية طاقة مقدارها جول امتصتها وزنة كيلو جرام من السلعة ، والجاى يساوى ١٠٠ راد (الوحدة القديمة)، أى أن:

الراد	= ١٠٠ إرج/جم	= ٠,٠١ جول/كجم
١٠٠٠ راد	= ١ كيلو راد K Rad	= ١٠ جول/كجم
١٠٠٠ كيلو راد	= ١ ميجاراد M Rad	= ١٠ كيلو جول/كجم

كيلو جاى K Gy = ١٠٠ كيلو راد

١٠ كيلو جاى = ميجا راد

ومن حيث **التأثيرات البيولوجية** للإشعاع (على الإنسان) فيعبر عنها بوحدة الريم Rem (إختصار لمكافئ الرونتجن للإنسان Rontgen Equivalent Man) حيث إن (r) هى وحدة التعرض لأشعة الرونتجن (إكس) كمقدار إشعاع (فى الهواء)، والرونتجن عبارة عن ٢,٥٨ × ١٠ $^{-٤}$ انحلالة/كجم أو ٨,٥ × ١٠ $^{-٣}$ جول/كجم هواء أو ٨٥ إرج/جم، وإن كانت الوحدة القياسية SI للتعرض تقاس بالكولمبس للكيلوجرام حيث إن الرونتجن عبارة عن ٢,٥٨ × ١٠ $^{-٤}$ كولمبس/كجم، فالكولمبس عبارة عن انحلالة. الوحدة الأحدث لمعدل الجرعة الإشعاعية هى السيفرت وتساوى ١٠٠ ريم وتعرف بمكافئ الجرعة، ومعدل الجرعة عبارة عن الجرعة مقسومة على زمن التعرض ، بينما الجرعة عبارة عن معدل الجرعة مضروبا فى زمن التعرض لها.

ويقاس النشاط الإشعاعى بالتقدير بأجهزة (أنابيب) جيجر Geiger - Müller Tubes، وعدادات الوميض Scintillation Counters التى تنشأ بالتأثيرات المؤينة لجسيمات الفا وبيتا ولاتستجيب مباشرة لأشعة جاما لكنها تقيس التأثيرات المؤينة الثانوية التى تنتجها أشعة جاما، ومنها عداد جاما Gamma Counter ، أو بوضعها على أفلام فوتوجرافية بعيدا عن الضوء لفترة كافية وهى طريقة تحتمل الخطأ وتحتاج لخبرة.

الأشعة Rays :

تنقسم الأشعة إلى نوعين من حيث إنها:

١- مؤينة Ionizing: مثل أشعة إكس (رونتجن/السينية)، أشعة جاما ، أشعة كونية، جسيمات الفا وبيتا.

٢- غير مؤينة: مثل أشعة الراديو والتليفزيون والرادار والموجات الحرارية القصيرة (ميكروويف) وتحت الحمراء وفوق البنفسجية والضوء العادى.

فالأشعة تتحكم فى الحياة، وبدونها لاتوجد حياة، فطيف الشمس والضوء المشع والحرارة كلها نراها أو نحسها وهى جزء من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسى، بينما الأشعة الصادرة من العناصر المشعة لاتراها ولا نسمعها ولاتشعر بها ولاتشمها ولاتتذوقها. كما تستخدم الأشعة فى الاتصالات والتطهير والتعقيم والبسترة ومنع الإنبات وإطالة فترة الحفظ للأغذية.

فجسيمات الفا إذا اخترقت جسم الإنسان تؤدى إلى تأين جزيئات الخلايا الحية المحيطة بها، كما تؤين جسيمات بيتا الهواء أو الوسط الذى تمر فيه (ومصادرها الطبيعية الشمس والراديوم، بينما مصادرها الصناعية سترانشيوم وفوسفور مشع)، وأشعة جاما تخترق الجسم بقدرة أشد من الفا وبيتا وإن كان تأيينها للجسم أقل (ومصادرها الطبيعية الشمس والراديوم بينما مصادرها الصناعية الكوبلت والسيزيوم واليود المشع).

المصادر الطبيعية للإشعاع التى يتعرض لها الإنسان :

يتعرض الإنسان إلى جرعات إشعاعية معينة صادرة عن البيئة ومصادرها:

أ- الأشعة الكونية Cosmic Rays:

قادمة من الفضاء الخارجى ومن الشمس وإن كان الغلاف الجوى يعتبر حاجزا وقائيا من تلك الإشعاعات. وتتكون الأشعة الكونية من بروتونات وجسيمات ألفا والكترونات وبوزترونات وفوتونات وأنوية ذرات. وتتغير الجرعة الإشعاعية التى يتعرض لها الإنسان من الأشعة الكونية بتغير المكان والارتفاع. والأشعة الكونية لاتؤثر على الإنسان فقط بل تستحدث موادا مشعة أخرى عند اختراقها للغلاف الجوى كإنتاج الكربون المشع الذى يدخل فى تركيب جميع المواد الحية على الأرض ونصف عمره حوالى ٥٧٠٠ سنة.

ب- أشعة صادرة من التربة :

تحتوى قشرة الكرة الأرضية على كميات ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم (موجود فى مصر) المشعين ونواتجهما ، ويختلف تركيز هذه العناصر بأختلاف نوع التربة إذ تزيد فى الصخور الجرانيتية عنها فى الصخور الرملية، وتتكون من أشعة جاما كما تحتوى التربة على نسبة ضئيلة من الكالسيوم المشع الذى نصف عمره حوالى ٧ × ١٠ ^ ٨ سنة، وتحتوى حجارة المبانى والتربة ومياه البحار على البوتاسيوم المشع، ويوجد الراديوم فى المياه الجوفية والنافورات.

جـ - أشعة في جسم الإنسان :

يحتوى جسم الإنسان على كميات ضئيلة من النظائر المشعة للكربون والبوتاسيوم (نصف عمره ١,٢٧ × ١٠ ^ ٩ سنة) بجانب ما يدخل جسمه من غازات مشعة كالرادون والثورون عن طريق التنفس وهذه الغازات ناتجة عن تفكك اليورانيوم والثوريوم المشعين الموجودين فى التربة. بجانب ما يدخل جسم الإنسان مع الغذاء والماء من كميات ضئيلة من مواد مشعة.

فالبيرة تحتوى ٣٩٠ بيكو كيورى/لتر.
واللبن يحتوى ١٢٤٠ بيكو كيورى/لتر.
وماء الشرب يحتوى ٢ - ٧ بيكو كيورى/لتر.

المصادر الصناعية للإشعاع التى يتعرض لها الإنسان :

أ- أشعة تشخيصية عند عمل صور الأشعة السينية، وتختلف الجرعة التى يتعرض لها الإنسان باختلاف العضو وتكرار عمل هذه الصور.

ب - أشعة علاجية وتتوقف الجرعة على العضو ومدة التعرض المطلوبة.
جـ- استخدام النظائر المشعة فى الصناعة والزراعة والأجهزة المنزلية (ساعات، لوحات مضيئة، سجائر، ورق، خطوط أنابيب بترول، تعقيم أدوية وأطعمة، صمامات تليفزيون وغيرها).
د- النفايات المشعة بعد استخدام النظائر ومن المفاعلات النووية.
هـ- تساقط الغبار الذرى الناتج عن التفجيرات النووية والحرب الذرية حيث ينتشر هذا الغبار إلى مسافات بعيدة ويتحكم فيه اتجاه الرياح (فمازلنا نذكر أول القاء للقنابل الذرية فى نهاية الحرب العالمية الثانية على أيدى الأمريكان على هيروشيما وناجازاكى اليابانيتين).

فيتعرض الإنسان للكميات التالية من المصادر المختلفة:

أشعة كونية	٤٥ ميللى ريم/سنة	(m Rem)
تربة	١٥ ميللى ريم/سنة	
ماء وغذاء وهواء	٢٥ ميللى ريم/سنة	
السفر بالطيران	٤ ميللى ريم للمسافة من لندن إلى نيويورك	
من السكن الطوبى	٥٠ - ١٠٠ ميللى ريم/سنة	
من السكن المسلح	٧٠ - ١٠٠ ميللى ريم/سنة	
من السكن الخشبى	٣٠ - ٥٠ ميللى ريم/سنة	
من الأشعة التشخيصية	٢٠ ميللى ريم/سنة	
مجاورة المحطات النووية	١ ميللى ريم/سنة	

وتشكل المصادر الطبيعية للأشعة التى يتعرض لها الإنسان حوالى ٧٠٪ من جملة ما يتعرض له من أشعة بينما المصادر الصناعية (استخدامات طبية) تشكل معظم الجزء الباقى (٣٠٪). فيتناول الإنسان غذاءه وماءه وهواءه بما تحمله هذه المصادر من عناصر مشعة سواء فى الهواء والماء أو ما تحمله إلى النباتات (غذاء حيوانى وغذاء مباشر للإنسان) والحيوانات (والأسماك) التى تخلف النشاط الإشعاعى بالتالى فى منتجاتها من لحوم وألبان وبيض ومخلفات. ويساعد على التلوث الإشعاعى البعد عن خط الاستواء، وسقوط الأمطار والثلوج، وهبوب العواصف، والتسرب النووى من المفاعلات، والتفجيرات النووية والنفايات الذرية وغيرها.

مخاطر الإشعاع :

الإنسان المتعرض لجرعات متزايدة من الإشعاع ينخفض محتوى دمه من الهيموجلوبين والصفائح الدموية وكرات الدم البيضاء، فيصاب نتيجة لذلك

بالأنيميا والنزيف وفقد جهاز المقاومة، ويتوقف الخطر على الجرعة الإشعاعية، وللوقاية من الإشعاع الخارجي يستخدم الإنسان:

١- حواجز بينه وبينها.
٢- البعد عن مصادرها مسافيا وزمنيا.
٣- التهوية.
٤- القناع أو كمامة واقية.
٥- ملابس واقية.
٦- معالجة كيميائية.

ويتوقف ذلك على نوع الأشعة وشدتها وأخطرها النيوترونات التى تتطلب دروعا وقائية ثلاثية الطبقات (من الماء أو البارافين ثم من ألواح من الكادميوم ثم طبقة رصاص)، بينما للوقاية من أشعة جاما يكفى درع واق من الرصاص لكن يتوقف سمكه على شدة الإشعاع أى معدل الجرعة، وأشعة بيتا نتقيها بدرع من الألمونيوم يتوقف سمكه على طاقة الأشعة (تقاس الطاقة فى المجالات الذرية والنووية بوحدة طاقة خاصة تعرف بالإلكترون فولت (eV) وهى تساوى ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول).

أما التعرض الداخلى للإشعاعات المؤينة أى عند وجودها داخل الجسم لوصول مصادرها عن طريق الفم أو التنفس (تلوث الهواء) أو الجروح (تلوثها) أو امتصاصها أو نفاذها من الجلد فهى صعبة الإزالة بحسب مصدرها ونوعها وقابليتها للذوبان وتمثيلها فى الجسم ودرجة سميتها والعضو الحرج المتركزة فيه ونصف العمر للعنصر المشع (نصف العمر المؤثر = نصف العمر الطبيعى × نصف العمر البيولوجى/نصف العمر الطبيعى + نصف العمر البيولوجى، علما بأن نصف العمر الطبيعى هو الفترة اللازمة لانخفاض نشاط العنصر الإشعاعى للنصف بواسطة العمليات الطبيعية، ونصف العمر البيولوجى هو الفترة اللازمة لخفض نشاط العنصر الإشعاعى للنصف بواسطة العمليات البيولوجية).

وقد حددت الوكالة الدولية للوقاية من الإشعاع (I.C.R.P.) ألا تزيد الجرعة المكافئة المؤثرة من التعرضات الداخلية والخارجية بمقدار ٥ ملى سيفرت (٠,٥ ريم/سنة) للأفراد العاديين، وبمقدار ٥٠ ملى سيفرت (٥ ريم/سنة) للعاملين فى حقل الإشعاع.

ويقاس التأثير البيولوجى لأى أشعة منسوبا إلى تأثير نفس الجرعة من الأشعة السينية، فيطلق عليه بالتأثير البيولوجى النسبى (RBE) أى منسوب لتأثير أشعة أكس. ولأغراض الوقاية الإشعاعية تستخدم كمية أخرى تعرف بمعامل النوعية (Q.F.) أى متوسط التأثير البيولوجى النسبى لجسم الإنسان ككل وهو على النحو التالى:

نـــوع الأشـــعة وطاقتهـــا	معامل النوعية
أشعة سينية وأشعة جاما منخفضة الطاقة	١
إلكترونات طاقتها أقل من ٠,٠٣ ملى الكترون فولت	١
إلكترونات طاقتها أعلى من ٠,٠٣ ملى الكترون فولت	١,٧
بروتونات سريعة	١٠
جسيمات الفا عالية الطاقة	١٠ - ٢٠
نيوترونات بطيئة	٣
نيوترونات سريعة	١٠

الآثـــار البيولوجية للإشعاعات المؤينة :

تقوم جسيمات الفا وبيتا والإلكترونات بتأيين ذرات الخلايا التى تمر فيها، أما طاقة إشعاعات جاما وأكس فتنتقل بشكل غير مباشر أى تؤين بطريق غير مباشر، حيث تنتقل طاقة هذه الإشعاعات إلى الإلكترونات الموجودة فى ذرات الخلية، وتقوم هذه الإلكترونات بالتأيين، كما تقوم النيوترونات كذلك بالتأيين لذرات الخلايا وتكوين نظائر مشعة داخل الجسم. تؤدى إشعاعات هذه النظائر إلى تأيين ذرات الخلايا كذلك. وتتوقف خطورة الآثار والفترة الزمنية اللازمة لظهورها على كمية الإشعاعات الممتصة ومعدل امتصاصها ومدى حساسية المادة الحية للإشعاع.

فالجرعة البسيطة قد لاتحدث تغييرات واضحة وهذا لاينفى احتمال حدوث تغييرات بسيطة على مستوى الخلايا. وفى حالة التعرض لجرعة عالية نوعا تزداد نفاذية الأغشية الخلوية فتزداد الخلايا انتفاخا وزيادة حامضيتها ويتحبب البروتوبلازم وتتجمع الكروموسومات ويقف النشاط الخلوى، وقد يظهر الغثيان والقىء ونقص كرات الدم البيضاء واحتقان واحمرار مناطق من الجسم ، وسرعان ماتزول الأعراض ويعود الجسم إلى طبيعته. أما فى حالة التعرض إلى جرعات إشعاعية أكبر فإن الأعراض السابقة تظهر بمستوى أشد ويستحيل معها الشفاء، حيث يتغير الانقسام الطبيعى للخلايا ويرافقه نقص شديد فى أنواع خلايا الدم المختلفة مما يؤدى إلى فقر دم شديد، وإذا تعرضت الأعضاء التناسلية لهذه الجرعة فإنه قد يحدث العقم، بينما إذا تعرضت العين لهذه الجرعة أعلاه يحتمل حدوث عتامة عدسة العين والسرطان. والجرعة الأكبر من السابقة تسبب الأعراض المذكورة بدرجة لايحتملها الجسم وتكون النتيجة الوفاة.

الآثارالحادة التى تظهر بعد عدة ساعات إلى عدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات ترجع لموت عدد كبير من خلايا الجسم أو نتيجة منع أو تأخير انقسامها ، وخاصة إلى تلف خلايا النخاع العظمى أو

الخلايا العصبية أو الخلايا المعوية حسب الجرعة الممتصة. وتظهر فى حالة بلوغ الجرعات المتعرض إليها إلى حوالى ١٠٠ راد (١ جراى) فيظهر الغثيان والقيء بعد ساعات وتسببه تلف خلايا الأمعاء ويزيد احتمال الشفاء كلما قلت الجرعة، وإذا بلغت الجرعة ٣٠٠ - ١٠٠٠ راد (٣ - ١٠ جراى) تحدث الوفاة بسبب عدوى ثانوية لاستنزاف كرات الدم البيضاء المسئولة عن الوقاية من العدوى، ويفيد فى هذه الحالة عزل المريض فى جو معقم ونقل نخاع إليه لتنشيط إنتاج كرات الدم البيضاء، وإذا ارتفعت الجرعة إلى ١٠٠٠ راد (١٠ جراى) تنخفض مدة بقاء الإنسان حى إلى ٣ - ٥ أيام، إذ تستنزف خلايا الأمعاء وتهاجمها البكتيريا بشدة وتتم الوفاة بالالتهابات المعوية. وإذا زادت الجرعة كثيرا تظهر أعراض تلف الجهاز العصبى المركزى. والجرعة فى حدود ٣٠٠ راد (٣ جراى) تصيب الجلد باحمرار، وزيادة الجرعة تظهر حروق وتقيحات الجلد. والجرعة ٣ - ٦ سيفرت تؤدى للقيء والإسهال ثم الخمول وتساقط الشعر وفقدان الشهية ونزف دموى وتحدث وفاة ٥٠٪ من المصابين بجرعة ٤ - ٥ سيفرت. بينما أكثر من ٦ سيفرت تظهر ما ذكر عاليه وتتم الوفاة قبل انقضاء الأسبوع الثانى لكل المتعرضين لهذه الجرعة.

والآثار المزمنة تنتج من التعرض لجرعات صغيرة وعلى المدى البعيد تتسبب فى سرطان خلال مدة تتراوح ما بين ٥ - ٣٠ سنة من وقت التعرض للإشعاعات التى تبلغ حوالى ١ مللى سيفرت (١٠٠ مللى ريم) فتؤدى للوفاة فى ١٠ - ١٥ فرد من كل مليون وذلك بسرطان النخاع العظمى (ليوكيميا) أى سرطان الدم، أو سرطان الثدى أو سرطان الرئة أو سرطان الغدد أو سرطان الكبد وغيره من السرطانات بأعضاء الجسم المختلفة المعرضة للإشعاع، وإذا تجاوزت الجرعة ١٥ ميللى سيفرت (١,٥ ريم) أدى إلى عتامة عدسة العين.

وخلافا للتأثيرات الجسدية المبكرة والمتأخرة فقد تظهر تأثيرات وراثية إذا تلفت الخلايا الجنسية (المواد الكروموسومية خاصة الحمض النووى DNA) مؤدية إلى تغييرات وراثية أى تغييرات فى المادة التى تحمل الصفات الوراثية فى الخلية، مما يؤدى إلى حدوث ولادات مشوهة وراثيا فى حدود الجيلين الأول والثانى للشخص المتعرض للإشعاع من أى من الوالدين، بنسبة ١٠ أطفال من بين كل مليون إذا لم تتجاوز الجرعة ١٠٠ ميللى ريم (١ ميللى سيفرت).

فيرجع **خطر المواد النشطة إشعاعيا** لإحداثها تأين فى المواد التى تمتصها، أى تؤدى لوجود أيونات سالبة وأخرى موجبة من الجزيئات المتعادلة، مما يؤدى لاختلافات بيوكيماوية فى الأنسجة، وبالتالى فالإشعاع مسئول عن التغييرات الفسيولوجية والهستولوجية والوراثية بحسب نوع وطاقة الإشعاع ومدة التعرض له ونصف عمره (اليود[١٣١] المشع ١و٨ يوم، سترانشيوم[٨٩] ٥١ يوما، باريوم[١٤٠] ١٢,٨ يوم، وهذه العناصر تمتص وتتراكم فى الجسم، سيزيوم[١٣٨] ٣٠ سنة، سترانشيوم[٩٠] ٢٨ سنة، وهذه العناصر توجد فى التربة

وتنتقل إلى المحاصيل). وعموما فالعلاقة قد تكون غير خطية بين جرعة الإشعاع وتأثيرها.

وقد تؤدى **الأشعة المؤينة** إلى صغر حجم الأجنة وأطوالها فى الأمهات الحوامل، إضافة إلى تدهور نمو الهيكل العظمى (للأجنة) وتكلسها، كما تؤدى لاضطرابات فى إفراز هرمونى الإستروجين والإستراديول لتأثير الأشعة على المبايض، كما تؤثر على صورة الدم بانخفاض محتوى الدم من البروتينات والألبيومين والجلوبيولين والكالسيوم وزيادة الكوليسترول إضافة لتغييرات فى مستوى هرمونات الدرقية والتستوسترون. وقد يظهر السرطان بعد التعرض للإشعاع بسنة (كما فى سرطان الرحم) أو خمسة سنوات (كما فى سرطان الدم Leukemia) أو عدة عقود (٦٠ - ٨٠ سنة فى أنواع أخرى من السرطان). والسرطان قد يكون صلبا (ورم Tumor) أو لوكيميا (سرطان كرات الدم البيضاء كالتى تنتشر بين أخصائى الأشعة نتيجة التعرض لأشعة أكس X-Rays).

ومن **أخطار المهنة** كذلك إصابة العالمة البولندية مارى كورى وابنتها إيرين بسرطان الدم بسبب بحوثهما فى مجال الإشعاع وقلة الدراية بمخاطر الإشعاع وطرق الوقاية منه حينئذ. وحدث عام ١٩٦٦م أن كسرت حقن الراديوم الخاصة بوحدة العلاج الذرى بالقصر العينى بالقاهرة وأدى ذلك لخطر تلوث مهنى. وكثير من حالات الوفاة تحدث للعاملين نتيجة الإصابة بسرطان الرئة لاستنشاق الغازات النشطة إشعاعيا المحتوية على الرادون (راديوم).

ويبدأ **السرطان** من نواة الخلية حيث تشكل النواة مركز النمو السرطانى (سواء من أشعة أو كيماويات أو فيروسات وإن كانت الأشعة لها تأثير مسرطن أكبر من تأثير الفيروسات والكيماويات الأخرى). والسرطان عبارة عن انقسام خلوى مستمر بدون نظام أو سيطرة ودون حاجة الجسم لهذا الانقسام، ويصاحبه اضطرابات كروموسومية فى الخلايا السرطانية يؤثر على عدد الجينات فى هذه الكروموسومات المشوهة. وقد يكون شذوذ الكروموسومات وراثيا فى بعض الأفراد فيكونوا أكثر عرضة للسرطانات عند تعرضهم للأشعة المؤينة، ويصاحب هذا الاستعداد الوراثى غالبا أمراضا وراثية كسرطان الخلية الكلوى وسرطان العين (الورم الشبكى البلاستومى) وسرطان الكلية والأنسجة المحيطة بها (ورم وليم).

التعرض **للأشعة فوق البنفسجية** Ultraviolet (U.V) يؤثر على مناعة الجسم فتحدث سرطان الجلد لتفاعلها مع الحمض النووى DNA بالخلايا منتجة مركبات ضوئية سامة للخلايا، وهى أشعة مطفرة Mutagenic للخلايا فتحدث تحولات خبيثة Malignant فى الخلايا مؤداها السرطانية الضوئية Photocarcinogenesis بعد احمرار الجلد وتلونه للبنى ثم الأسود لتغيير توزيع صبغة الميلانين فى الجلد. وتؤدى هذه الأشعة U.V كذلك إلى تقرن قرنية العين وعتامة العدسات (مياه) Cataract. وكلما ارتقى الكائن فى سلسلة التطور كلما

زادت حساسيته للإشعاع، وأكثر الأعضاء تعرضا لآثار الإشعاع هى المخ والغدة الدرقية والثدى والرئة والكبد والأمعاء والكلى والأعضاء التناسلية والجلد والنخاع العظمى. ويؤدى الإشعاع للعقم لشدة تأثيره على البويضات والسبرمات، ولإن كان التأثير أقوى على النساء لأن البويضات لاتنتج باستمرار العمر كما فى الحيوانات المنوية بل تنتج كلها مرة واحدة فى المبيض فتتعرض باستمرار للإشعاع طالما تعرضت النساء للإشعاع. وأنسجة الأطفال والخلايا النامية بسرعة أكثرحساسية للإشعاع، لذا يحذر تعريض الأطفال حتىعمر١٥ سنة للإشعاع.

وقد انتشرت المفاعلات النووية وزادت **حوادث التسرب النووى منها** كما حدث لمجمع سيلافيلد النووى ببريطانيا فى الفترة من ١٩٦٨ إلى ١٩٧٨م مما أدى لارتفاع نسبة حدوث السرطان فى الأطفال فى المنطقة المجاورة بمعدل عشرة أضعاف المعدل القومى، مما يؤدى إلى زيادة نسبة الوفاة بسرطان الدم بين الشباب عمر أقل من ٢٥ سنة بمعدل أربعة مرات أعلى عن المعدل القومى فى نفس الفترة. كما أدى دفن المخلفات النووية لمفاعل ديمونة الإسرائيلى فوق طبقة صخرية هشة على عمق كيلو متر من سطح الأرض وبفعل النشاط الزلزالى فى هذه المنطقة تسرب الإشعاع إلى مياه الآبار القريبة من المفاعل، فظهرت حالات سرطانية عديدة فى قرية أردنية قريبة من المفاعل. وقد أدى استعمال الأمريكيين لليورانيوم فى حرب الخليج إلى معاناة الأطفال من مرض سرطان الدم.

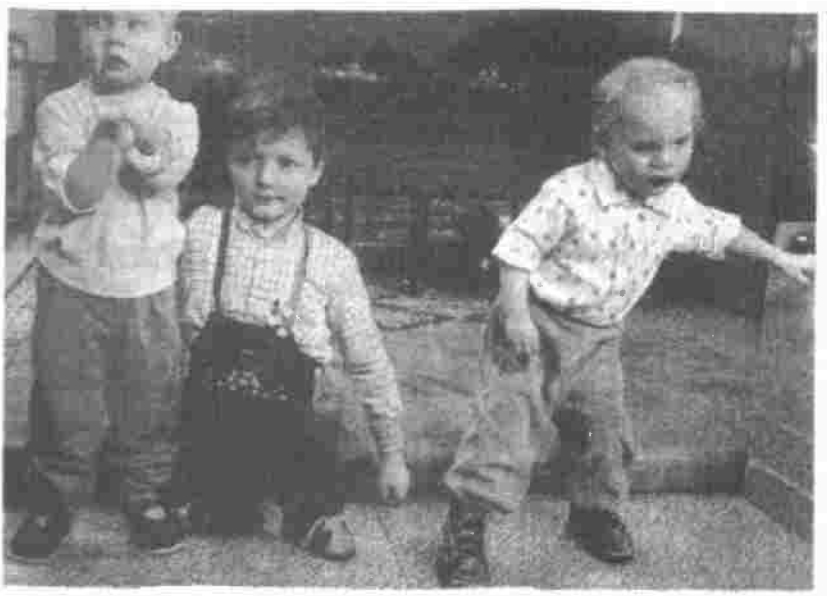
وحادث الانفجار النووى من مفاعل تشيرنوبيل عام ١٩٨٦م ليس ببعيد ، فقد أدى إلى رعب ليس فقط فى الاتحاد السوفيتى (سابقا) بل وفى الدول المحيطة كذلك ، فأخذت الدول فى تتبع آثار التلوث بالإشعاع فى الجو والتربة والماء والغذاء، وامتنع الألمان عن شراء اللحوم والألبان والخضراوات خوفا من تعرض النباتات والحيوانات للإشعاع، وزاد تركيز السيزيوم ١٣٧ فى ألمانيا عن خمسة أضعاف الناتج من اختبارات الأسلحة النووية فبلغ ٢٤ ألف بيكوريل/م٢ على سطح الأرض، واحتوت لحوم الحيوانات التى كانت بالمرعى عقب الانفجار على ١٠٢٠ بيكوريل سيزيوم/كجم (وأقصى حد مسموح به لايزيد عن ١٠٠ بيكوريل)، وزاد الطلب على الملابس الواقية من الكوارث، ولقى ٨ آلاف شخص فى منطقة الحادث حتفهم نتيجة تأخير الإعلان عن الحادث، وسجلت زيادة كبيرة فى نسبة الإصابة بالسرطان (٨٥٠٠ حالة) فى منطقة الانفجار وأجوارها، وشهدت المنطقة زيادة فى حالات الأطفال الذين ولدوا بعيوب خلقية، أما سكان أوكرانيا (٣٥ مليون نسمة) فمعظمهم يتعرضون للموت البطىء وخاصة من شارك فى التصدى للكارثة من رجال إطفاء وفنيين وأطباء وباحثين، فقد لقى ٥٧٢٢ من هؤلاء المتطوعين حتفهم ما بين عامى ١٩٨٨ و ١٩٩٤م، ومن هؤلاء كذلك ٤٣٢ ألف حالة تتلقى علاجا طبيا من أمراض متباينة أخطرها

السرطان، وهؤلاء المتطوعون ظهرت عليهم الشيخوخة المبكرة رغم أنهم فى مرحلة الشباب، وزادت نسبة الإصابة بسرطان الغدة الدرقية بمعدل ٣ مرات عن المعدل الطبيعى بين الأطفال الأقل من ١٥ عاما والذين تعرضوا للإشعاع. وحتى شهر يوليو عام ١٩٩٣م سجل وجود الإشعاع النووى فى سجائر روسيا. بل أكد تقرير بريطانى فى شهر أبريل ١٩٩٨م أن الآثار الإشعاعية لانفجار مفاعل تشرنوبيل عام ١٩٨٦م مازالت مستمرة وتهدد بتسميم إمدادات المياه فى أوكرانيا، كما أكدوا أن هذه الآثار يمكن أن تستمر لأكثر من مائة عام، وقد كشف العلماء الروس فى المفاعل عن وجود مواد مشعة تحت التربة التى أقيم عليها المفاعل ويخشى من تسربها إلى مياه نهر دينبز. وتزداد حالات سرطان الغدة الدرقية بين الأطفال الذين كانوا فى الخامسة من عمرهم أثناء الانفجار حيث تم تسجيل ١٥٠٠ حالة فى أوكرانيا وروسيا وبيلاروس فى الفترة من ١٩٨٧م إلى ١٩٩٨م.

وفى نهاية عام ١٩٩٧م أكدت تقارير أمريكية رسمية أن الأطفال الأمريكيين فى شمال غرب الولايات المتحدة هم أكثر فئات الشعب الأمريكى تعرضا للإشعاع النووى الذى نجم عن الغبار المتساقط من الجو على المزارع إبان التجارب النووية التى جرت فى الخمسينات، وذلك نظرا لاتجاهات الرياح، ولأن الأطفال تزيد نسبة تعرضهم لمخاطر الإشعاع عشرة أضعاف احتمالات تعرض الكبار لها، إذ تعرض الكبار فى هذه المناطق المنكوبة إلى ١٦ راد بينما تعرضت الأطفال إلى ١٦٠ راد (وحدة قياس الإشعاع).

ويتأثر النبات والحيوان بالإشعاع كالإنسان وباقى الكائنات المختلفة، فتنتقل المواد المشعة من الأعلاف (من الطبيعة وكوارث المفاعلات النووية والانفجارات من الأسلحة النووية) إلى اللحوم (أنسجة الحيوان)، وتؤدى إضافة التوابل وغيرها فى منتجات اللحوم إلى زيادة تركيز العناصر المشعة كالسترانشيوم المشع (بينما يؤدى تمليح اللحوم (نيترات) إلى خفض السيزيوم المشع بمعدل حتى ٤٧٪، وبالتحمير يستبعد حتى ٣١٪ من السيزيوم المشع فى العصير).

ويعد اليود والاسترانشيوم من أهم العناصر المشعة الملوثة لأوراق النباتات بينما تلوث التربة وامتصاص النباتات منها يكون مرتبطا أكثر بالاسترانشيوم والسيزيوم. فاليود المشع يتلف الغدة الدرقية ويؤدى الاسترانشيوم إلى هدم أنسجة العظام وتثبيط عمل كرات الدم البيضاء وإنتاج الصفائح الدموية وكرات الدم الحمراء. ويؤثر الإشعاع الداخل مع الغذاء على القناة الهضمية محدثا تلفا فيها مع إسهال شديد فيحدث جفاف وإزاحة للأملاح من الجسم فينفق الحيوان بعد قليل من الأيام. ملامسة الإشعاع للجلد يظهر تأثيرها بعد ساعات قليلة.



أطفـــال تشـــيرنوبيل

أطفـــال تشـــيرنوبيل

وفى الجرعات الأقل يحدث مرض الإشعاع بمعنى ظهور فقدان الشهية للأكل مع قيء ونعاس lethargy لمدة ساعات إلى عدة أيام، ثم يعود الحيوان ظاهريا لطبيعته ليظهر النفوق فى المرحلة الثالثة من المرض. وتظهر الحمى والتهاب ساق أو أكثر وإسهال بتعن dysentery وعدم الإقبال على الأكل وعطش شديد وضعف وسرعة التنفس والنهجان ورشح أنفى ملطخ بالدم أحيانا.

ويحدث النفوق عادة بعد حوالى ٢٠يوما من التعرض للإشعاع. وقد يحتمل الحيوان ويمرعبر هذه الأزمة دون أن ينفق فيستمر دون الوزن الطبيعى وتعود الخصوبة بعد ٨ شهور فى الخنازير وسنتين فى الماشية. وخلال فترة الاستشفاء قد تولد أجيال بها طفرات.

وتؤثر الأشعة فوق البنفسجية (١٥٠ إرج/مم٢) على الحيوانات المنوية لقنفذ البحر مما ينتج عنها (بالتلقيح) معابر كروموسومية فى الأجنة تؤدى إلى تشوهها خلقيا، بينما تؤدى الجرعة الأعلى (٥٥٠٠ - ٧٥٠٠ إرج/مم٢) إلى إبادة كاملة للخلايا الجرثومية. وقد تظهر أعراض التعرض للإشعاع فى الجلد بشكل احتراق شديد للتعرض الموضعى لأشعة بيتا وجاما (وإن كان تأثير جاما أساسا داخل الجسم) مع حدوث أوديما وهدم للخلايا ولحويصلات الشعر. والأغنام مقاومة عن الخنازير والأرانب لوجود الصوف. وتعرض الأمعاء للإشعاع يصحبه إسهال من الالتهاب الموضعى الراجع لأشعة بيتا، وتتقرح الأمعاء وتصبح عرضة للإصابة بالبكتيريا وتضعف كرات الدم البيضاء. وتعرض الغدة الدرقية للإشعاع سواء ببلع أو استنشاق اليود ١٣١ فإنه يمتص بأكمله ويصل ٢٠٪ منه إلى الغدة الدرقية ويتراكم بها ويعمل على هدم النسيج النشط للغدة وتظهر اضطراباتها على الجسم وإنتاجه، وبعد ذلك بسنوات تظهر خراجات الدرقية وإن كانت معظم الحيوانات تذبح قبل هذه المرحلة. وتتعرض العظام للإشعاع من خلال وجود القلويات الأرضية التى تحل محل الكالسيوم فى العظام وهى سترانشيوم ٨٩، سترانشيوم ٩٠، باريوم ١٤٠ ومختلف نظائر الراديوم ويتوقف امتصاصها وتوزيعها فى الجسم فى الحيوان على عمر الحيوان. وقد تسببت جرعة ٤٥٠ راد فى نفوق ١٠٪ من قطيع ماشية هيرفورد بالغة، بينما ارتفاع الجرعة إلى ٧٠٠ راد فقد أدى إلى ١٠٠٪ نفوق. وقد قدرت الحساسية للإشعاع للفقاريات مقاسة بالجرعة المميتة لنصف الخلايا (LD_{50}) فى ظرف ثلاثين يوما على النحو التالى:

الفقاريات	LD_{50} كيلو رونتجن
كلاب	٠,٣١٩
ماعز	٠,٣٧٥
خنازير	٠,٣٩٠
إنسان	٠,٤٥٠
أرانب	٠,٨٩٠
جرذان	٠,٩٣٦
فئران	٠,٩٤٠

كما أن التعرض للأوزون (٠,٣٧ - ٠,٥٠ جزء/مليون بالاستنشاق لمدة ٢ - ٢,٧٥ ساعة) يؤدى إلى تهتك كرات الدم الحمراء واضطرابات فى إنزيمات الدم وفيتامينات الدم (فى الإنسان) والكبد (فى الفئران)، وقد يرجع ذلك لتأثير الأوزون المحاكى للإشعاع فيكون شقوقا (أصول - شوارد) حرة Free Radicals.

الوقاية من آثار الإشعاع :

نتيجة الآثار المدمرة للإشعاع وسوء استخدامه فقد تكونت منظمات وهيئات دولية لمراقبة هذه الآثار، ووضع التوصيات للتشغيل والنقل والدفن والحدود القصوى المسموح بها من الإشعاع فى البيئة والمسموح للإنسان بالتعرض لها. ولذلك تسجل عدد مرات الفحص بالأشعة ويخطر الطبيب المعالج بها.

ينبغى الحذر التام فى تداول النظائر المشعة حتى شديدة البطء فى الإشعاع إذ باستمرار التعرض لها وإشعاعها الضعيف المستمر (ذات نصف العمر الطويل) كالتريتيوم والكربون ١٤ والتى ترتبط بالجسم وبعد مدة تصبح مصدر خطر شديد. لذا وجب فهم وتطبيق التشريعات الخاصة بتداولها ومعاملة نفاياتها وذلك بكل دقة وشدة. فمناضد المعامل يجب تغطيتها بمادة مقاومة للماء (لمنع امتصاص الخشب للنظائر) مع تغييرها باستمرار، ومع ارتداء ملابس وقفازات للحماية، وغسيل كل الزجاجيات الملوثة بالإشعاع فى وعاء خاص (قبل غسيلها العادى على الأحواض أو فى الأجهزة) يستخدم مرة واحدة قدر الإمكان.

والحقيقة أن الإنسان معرض للنشاط الإشعاعى بمعدل متزايد عن ذى قبل، وذلك نتيجة استخداماتها المتعددة فى تطور الإنسانية مما يستحيل معه تلاشيها والبعد عن آثارها، وهذا يدعو إلى البحث فى إزالة تأثيراتها الضارة،

وأفضل الوسائل لذلك هى الطبيعة للحماية من أضرار الإشعاع، والفيتامينات وعديد من العناصر المعدنية المتواجدة فى المواد الغذائية جيدة الحفظ تعتبر موادا لإزالة هذه الأضرار، وكذلك قضاء الأوقات فى الأجواء الجيده المفتوحة ، وأى رياضة ملائمة تساعد على مقاومة الجسم مما يسهل على الجسم التخلص بسرعة مما دخله من مواد ضارة.

وفى حوادث الإشعاع يتبع الآتى :

١- تتبع الإشعاع.
٢- قياس الإشعاع.
٣- الابتعاد عن مصدر الإشعاع.
٤- إعاقة الإشعاع.
٥- تقليل وقت التعرض للإشعاع قدر الإمكان.

ولايمكن منع مادة مشعة من أن تشع، وعندما تتلوث منطقة يجب إبعاد المواد النشطة إشعاعيا بطرق صلبة (أتربة ورماد وغيرها باستخدام مكنسة كهربائية لدفن المواد التى امتصتها المكنسة فتمنع استنشاقها) أو سائلة (بغسيل المواد الخطرة بكميات كبيرة من الماء كالدش أو الحمامات أو الرش المندفع). وينبغى الحماية للعاملين على إزالة التلوث بارتداء ملابس الحماية غير المنفذة للتراب، مع منع الأكل والشرب والتدخين أثناء العمل. وتزود ملابس الحماية بعداد جيجر لقياس الإشعاع، وجهاز لاسلكى مرتبط بمحطة مركزية لتسجيل أماكن التلوث، بجانب تغطيتها لجميع أجزاء الجسم.

وتتطلب الوقاية من الإشعاع العمل على المحاور التالية:
١- اختيار أنسب المواقع للاختبارات والتفجيرات والمشاريع النووية بعيدا عن تجمع السكان وزراعاتهم ومجارى المياه السطحية والجوفية بعدا مناسبا.
٢- التخلص من النفايات المشعة بالطرق العلمية السليمة.
٣- التحكم فى مصادر التلوث ومراقبتها.
٤- توفير سبل حماية الأفراد من الإشعاع.

ولحماية الأفراد العاملين فى هذا الحقل لاينبغى التعرض لأكثر من ٥ ريم فى السنة. أى ٠,١ ريم فى الأسبوع سواء من الإشعاع الداخلى أو الخارجى، وذلك بتقليل وقت التعرض والبعد عن مصدر الإشعاع ما أمكن، واستخدام وسائل الحماية التى لاتخترقها الأشعة قدر الإمكان سواء من هواء أو ماء أو رصاص أو خرسانة، وتحسب سمك هذه الوسائل طبقا لطاقة الإشعاع (بالالكترون فولت eV)، فكلما ازدادت طاقته زاد سمك وسائل الحماية هذه.

كما ينبغي استخدام سلسلة التحذير سواء على المواد المشعة أو مناطق الإشعاع ويوضح عليها الجرعات التي يمكن التعرض لها لكل كيلو جرام وساعة.

أما التحكم في التلوث للمعامل والمناضد والزجاجيات وخلافها فهو هام. لأنه يمكن أن يكون مصدرا للتلوث الداخلي للأفراد العاملين بهذه الأجهزة أو في هذه المعامل أو الأماكن الملوثة. لذلك ينبغي الحرص ووجود ضباط أمن إشعاع يعملون على تقدير الجرعات التي يتعرض لها العاملون، وعد دم في حالة التعرض للخطر، وعد دم نصف سنوي، وانتظام توزيع وفحص الأجهزة الشخصية المحذرة للأفراد ، رقابة كل عملية نقل وتخزين وحفظ سجلات لها، حفظ سجلات لكل مصدر إشعاعي مغلق، مراقبة تنفيذ التعليمات والقوانين المنظمة لاستخدامات النظائر المشعة ومنها:

١-منع الأكل والشرب والتدخين واستعمال أدوات الزينة وكذلك منع تسريح الشعر في المعمل (لإحداثه شحنات كهروستاتيكية).

٢-لبس معطف المعمل في داخل المعمل وليس خارج المنطقة ذات النشاط الإشعاعي.

٣-إذا وجدت خطورة تلوث اليد فينبغي لبس قفاز جراح بحيث لايتلامس سطحه الداخلي مع سطحه الخارجي لمنع تلوث الجلد المباشر، وخلعه مباشرة عند عدم الحاجة إليه.

٤-لايستخدم الفم في سحب أي سوائل بالماصة وما شابهها، بل تستخدم سرنجات أو ماصة أوتوماتيك أو مساعد ماصة propipettes.

٥-الحماية بالنظارات التي ينبغي لبسها عند شدة الإشعاع لحماية عدسة العين من جسيمات بيتا وتقلل الحوادث الكيماوية.

٦-لمنع التلوث ينبغي وفرة الورق واستعماله باستمرار لإزالة أي تلوث ووضعه مباشرة في صناديق قمامة خاصة تفتح باستخدام القدم.

٧-كل العمليات التي تشتمل على مواد طيارة أو تسخين أو هضم ينبغي عملها تحت خزانة غازات Fume Hood مزودة بمروحة شفط للهواء.

٨-يجب تركيب فلتر على فتحات الشفط لتجميع جزيئات الغبار الذرى خاصة في حالة نشاط ألفا.

٩-تجرى كل العمليات على صوان ضحلة مغطاة بورق نشاف.

١٠-يجب توفر عداد جيجر للكشف عن التلوث وكذلك غرف تأمين كأجهزة لقياس الجرعات المتعرض لها.

١١-قبل مغادرة المعمل يجب اختبار الأيدى والملابس ونعل الحذاء بجهاز مناسب أو مسحها وعد الممسحة.

ولإزالة التلوث من الجلد يجب غسله أولا بصابون سائل وماء مع استخدام فرشاه طرية دون خدش الجلد بعنف الغسيل والتفريش. والتلوث

الإشعاعى للزجاجيات والسطوح المعدنية أو المدهونة يمكن خفضه بتكرار الغسيل بمحاليل خاصة أو بالمواد التالية:

المادة الملوثة	محاليل إزالة التلوث
الزجاج	حمض نيتريك ١٠٪، أو حمض كروميك ٢٪، أو ثنائى فلوريد أمونيوم ٢٪، أو حمض هيدروكلوريك ١٠٪.
ألمونيوم	حمض نيتريك ١٠٪، أوميتاسيليكات صوديوم ١٠٪، أو ميتافوسفات صوديوم ١٠٪.
صلب	حمض فوسفوريك .
رصاص	حمض هيدروكلوريك (٤ عيارى) حتى يبدأ التفاعل ثم محلول مخفف قلوى ثم ماء.
لينوليوم	زيلول أو ثلاثى كلورو إيثيلين لإزالة السطح الشمعى.
سطوح مدهونة	سيترات أمونيوم أو ثنائى فلوريد أمونيوم.
خشب وخرسانة	صعبة التطهير لذلك تزال المواد الملوثة كلية أو جزئيا فهى الطريقة الفعالة الوحيدة.

أما المعامل المستخدم فيها المواد النشطة إشعاعيا فتنقسم إلى ثلاثة أنواع، الأول منها (A) مزود بوحدة تجهيز الفضلات بينما فى الأبحاث البيولوجية فتستخدم عادة الأنواع (B) أو (C) من المعامل. فالمعمل من النوع (C) أى معمل جيد التهوية مزود بخزانات لطرد الغازات ومناضدة وأرضياته سهلة التنظيف. أما فى حالة كثرة استخدام كميات كبيرة نشطة إشعاعيا مثلما يحدث فى تخفيف محاليل أو تحضير مركبات معلمة Labelled Compounds فإن المعمل من النوع (B) يجب استخدامه وشروط هذا المعمل (B) كالتالى:

١-يجب أن تكون غرفة المعمل منفصلة عن غرفة العد (القياس).

٢- كفاية التهوية لتغيير كل حيز هواء الغرفة ١٢ مرة كل ساعة، واتجاه الهواء من المناطق الأقل نشاطا إلى المناطق الأكثر نشاطا، وكل خزانة غازات بها مروحة سحب فى قمتها، مع انفصال حركة هواء الغرفة عن باقى الغرف خاصة غرفة العد أو القياس، مع وجود فلتر جزيئى على كل قناة صرف.

٣-وجود مناطق تخزين منفصلة يمكن غلقها ومحمية لاستخدامها للمصادر عالية الإشعاع.

٤-لتسهيل إزالة التلوث فيجب تغطية المناضد والمقاعد benches بطبقة ميلامين Melamine ، والأرضيات بالفينيل Vinyl أو اللينوليوم linoleum بدون وجود شقوق. ولايستخدم الخشب والخرسانة تحت أى ظروف بدون تغطيتها سواء فى المناضد أو الأرضيات. والأثاث ينبغى أن يكون من مواد لا مسامية.

٥-أجهزة جيجر وأجهزة الكشف عن تلوث الأيدى والأقدام وشماعات المعاطف يجب أن تكون فى مدخل المعمل مباشرة.
٦-محابس المياه يجب أن تصمم لتعمل بالقدم أو الكوع لمنع تلويثها.
٧-إذا كان ممكن ، فينبغى توفير دش shower (لإزالة التلوث من الأفراد) بجوار المعمل مباشرة.
٨-يجب أن تتوفر بالوعات فى الأرضيات.
٩-يجب ألا توجد زوائد أو أركان يتراكم عليها الغبار ويصعب تنظيفها.

التخلص من الفضلات :

تنظمها توصيات اللجنة الدولية لمكافحة الإشعاع (I.C.R.P).عموما فإن الفضلات السائلة يجب تخزينها فى أوانى بولى إثيلين ولاتصرف فى بالوعات الصرف الصحى. والحجوم الكبيرة منخفضة النشاط الإشعاعى من الفضلات السائلة تعامل بالمبادلات الأيونية Ion-Exchangers لخفض حجومها. والفضلات الصلبة توضع فى صناديق تفتح باستخدام القدم. كل أوانى الفضلات ينبغى احتواؤها على بيانات ما بها، وما يضاف إليها من كميات (ونشاط) بتواريخ إضافتها. وإذا أمكن، فينصح بتخزين الفضلات السائلة والصلبة حتى ينخفض نشاطها الإشعاعى، وإلا فإنه من الضرورى استخدام الدفن الأرضى Land Burial فى حالة طول عمر الانبعاث. وفى بعض البلدان توجد منظمة مركزية متخصصة فى تجميع وتخزين أو دفن المواد المشعة.

وقد يتم معالجة النفايات المشعة بترسيب السوائل فى شكل عجينة للدفن، وباقى السوائل تعامل كيماويا ثم تصرف فى المجارى ، أما المخلفات الصلبة فتدفن ، والمخلفات الغازية ترشح بمرشحات ويتم ذلك بواسطة مسؤولين. ويتم تطهير الأماكن الملوثة بمصها بالورق أو النشاف والغسيل بالماء المندفع مع الصابون والفرشة.

والحيوانات المعاملة بالإشعاع لاينبغى استخدامها فى تغذية الإنسان، لذلك يجب ترقيم أو تعليم الحيوانات(مثل نمر الأذن) عند تناولها لأول جرعة مشعة. وللتخلص من هذه الحيوانات تحقن فى الوريد بجرعة عالية من مادة تخدير (الباربيتيورات Barbiturate Anaethesia أو كلوريد ماغنسيوم مشبع) فتؤدى إلى سرعة قتلها بطريقة إنسانية دون إراقة دمائها النشطة إشعاعيا. ويتخلص من جثثها كما فى الفضلات الأخرى، مع الحرص ألا تتناول لحومها الكلاب أو الحيوانات المتوحشة Feral Animals.

احتياطات فى استخدام النظائر عمليا :

١-فى استعمال النظائر يراعى تأثيرها الكيماوى على الحيوان التجريبى كأن لاترفع حرارة النظائر أى لاتحتوى مسببات الحمى Pyrogens، ولاتحتوى تركيزات عالية من الأملاح، ولاتكون عالية الحموضة، ولا تكون معادن سامة.

٢-مراعاة كمية المادة المشعة Tracee أو الحاملة Carrier بما لايؤثرعلى سلوك الأيض Metabolic Behaviour مثلما يحدث فى استهلاك اليود المشع Radioiodine وتأثيره على الغدة الدرقية Thyroid. وإذا كانت الاستجابة الحركية Kinetic Response سيتم قياسها، فينبغى أن تكون جرعة العنصر المعلم tracer عالية النشاط النوعى.

٣-فى دراسات المرقمات الذرية ينبغى ألا يكون هناك أى مصدر للإشعاع سوى محلول واحد تحت الدراسة، لذلك ينبغى نقاوة كل الكيماويات الأخرى من الإشعاع، لذلك يستخدم جهاز قياس الطيف لأشعة جاما Gamma-Ray Spectrometry للكشف عن أى تلوث إشعاعى للمحاليل المختلفة.

٤-يراعى تأثيرات النظائر Isotope Effects، فمثلا العناصر الخفيفة خاصة الهيدروجين والكربون تتوزع بيولوجيا فيطلق على ذلك تأثير النظير ، فينبغى الحرص من مثل هذه الاحتمالات.

٥-تأثير الإشعاع علىالمواد البيولوجية يجب تجنبه ، لذلك تستخدم أقل كميات نشطة إشعاعيا لتقليل تعرض الأشخاص للإشعاع ، ولتجنب تلوث المعامل، وتفادى مشاكل التخلص من النفايات. لذلك تحسب الكميات المتطلبة بالضبط فى كل تجربة من المواد النشطة إشعاعيا. فارتباط الإشعاع بجزىء بيولوجى مثل الحمض النووى D.N.A يزيد من تأثير الإشعاع. كما قد تتحل المادة المشعة لمادة أخرى كما يتحول النظير المشع للفوسفور إلى كبريت مما يؤثر على وظيفة الجزىء الذى يحتوى هذا العنصر.

٦-مشكلة أخرى فى تأثيرات الإشعاع فى انحلال الإشعاع، كما هو معروف فى المركبات العضوية ذات الكربون المشع التى تتحل بالتخزين ، لذلك عند شراء هذه المركبات تجاريا يجب فحصها كروماتوجرافيا قبل استخدامها للتأكد من عدم هدمها . ويمكن خفض هدم الإشعاع بطرق عديدة، منها الإذابة فى مذيبات واقية Protecting Solvents ، أو امصاصها Adsorption على مادة صلبة فى طبقة رقيقة، أو تحويلها إلى مشتق ثابت، أو الحفظ بالتبريد فى فراغ Vacuum.

٧-يراعى التفاعلات التبادلية عند استخدام النظائر، فاستخدام الفوسفور المشع قد يدخل فى تكوين فوسفوليبيدات ، إلا أن ذلك ربما لايعتبر عملية تبادلية ؛ لأنه من التجارب لوحظ أن الفوسفات المعدنية لاتتبادل مع أصل الفوسفات أو الفوسفوليبيد عند رج فوسفات صوديوم مع محلول فوسفوليبيدات، كما أن مخلوط الكبد لم يكون فوسفوليبيدات مشعة من الفوسفور المشع. كما يجب التأكد من عدم الفقد بالتبادل للعنصر المشع فى الجزىء تحت الدراسة، فمثلا قد يكون غير مجدى تعليم هيدروجين الكربوكسيل لحمض عضوى بالتريتيوم Tritium؛ لأنه حالما وضع هذا الحمض المعلم Labelled Acid فى النظام

البيولوجى فإن التريتيوم يتبادل مع هيدروجين ماء الجسم، كما أن التريتيوم المعلم فى مجموعة ألدهيد يظل ثابتا حتى يتأكسد هذا الألدهيد.

٨-بعد معاملة الحيوان بالإشعاع يجب اعتبار الحيوان كمصدر للإشعاع الخارجى وكذلك نواتج إخراجه النشطة إشعاعيا والتى يمكن أن تلوث ما يحيطها، فينبغى جمعها كميا والتخلص منها كمخلفات نشطة إشعاعيا.

٩-يجب الحرص فى أخذ العينات للتحليل من الحيوانات المعاملة بالنظائر المشعة، فيجب خلط الروث جيدا قبل أخذ عينة منه لاختلاف توزيع النظير فى الروث خاصة عقب المعاملة بقليل. طحن العينات يسبب مشاكل للغبار الناتج، لذلك لايفضل الطحن إلا إذا أخذت احتياطات ضد المخاطر. ويجب الحذر من وصول النظير المشع ميكانيكيا وليس ميتابوليزميا للعينات، مثلا الحقن فى الغشاء البريتونى يعقبه وجود نشاط إشعاعى فى الكبد والأعضاء الحشوية الأخرى لأنها خزنته ميكانيكيا، كما عند تناول الإشعاع عن طريق الفم، ثم قتل الحيوان بعدها مباشرة يراعى عدم ملامسة عينات الأنسجة لمحتويات الأمعاء.

١٠-يراعى تجفيف العينات سريعا لتقليل التغييرات الكيماوية والبيولوجية التى يمكن أن تحدث، وذلك فى فرن جيد التهوية على ٦٠ - ٧٠ °م، ويمكن استكمال التجفيف على ١١٠ °م. بينما العينات السائلة من بول ودم وبلازما وصفراء ولبن فتحلل مباشرة بالقياس السائل Liquid Counting. أما العينات الصلبة فيمكن قياسها مباشرة بباعث أشعة جاما Gamma-Ray Emitters أو معاملتها بالهضم الرطب أو الترميد العادى أو الأكسدة بطرق خاصة وذلك حسب طاقة الإشعاع المنبعث.

الوجه الآخر للإشعاع :

الإشعاع رغم مخاطره الشديدة إلا أنه سبب فى توفير راحة ورفاهية وصحة الإنسان، وذلك باستخداماته العلمية والطبية والصناعية والزراعية.

فيستخدم الإشعاع Radiation **فى علاج الخراجات** Tumors ويزيد الأوكسجين من التأثير المميت لأشعة جاما وإكس بقدر ٢ - ٣ مرات عن عدم وجود الأوكسجين، ويستفاد من هذا التأثير فى المجال العلاجى بالإشعاع، إذ يقوم المعالج بتزويد الخلايا السرطانية بالأوكسجين فيزيد من حساسيتها للإشعاع المؤين المستخدم للعلاج عن طريق زيادة تكوين الأصول (الشوارد) الحرة المؤكسدة.

ويستخدم **فى الزراعة** فى مجالات متعددة من تحديد الاحتياجات الغذائية للنباتات والحيوانات، استحداث طفرات نباتية وأسماك وحيدة الجنس، مقاومة الحشرات ومسببات الأمراض للنبات والحيوان، التعقيم للمياه والمشروبات والأغذية لإطالة فترة تخزينها وخفض الفاقد بالتلف (الذى يصل إلى ٦٠٪)،

تحديد مصادر المياه الجوفية وإمكانياتها. وهناك ٣٨ دولة تستخدم التشعيع Irradiation للأغذية بأشعة جاما لوقف إنباتها (تزريعها) كما فى البصل والثوم والبطاطس فتظل صالحة لمدة ٦ شهور لحين ظهور المحصول الجديد، كما تؤخر نضج الفاكهة كالفراولة فيسهل تصديرها، وتقضى على السالمونيلا فى الدواجن فلا يحدث التسمم الغذائى. وتتوقف الجرعة على الغرض من الاستخدام [تطهير حشرات ، قضاء على الفطريات (كما فى التوابل لزراعتها فى المناطق الحارة)، وقف النشاط الإنزيمى، تحسين الهضم (كما فى الفول المدمس واللحوم بتكسير المثبطات)] .

ففى تكنولوجيا اللحوم تستخدم جرعات محددة كالتالى:

٠,١ - ١,٠ كيلو جراى لمقاومة الديدان الشريطية.
٠,٤ - ١٠,٠ كيلو جراى لإطالة مدة صلاحية وخفض عدد الكائنات الدقيقة.
١٠ - ٥٠ كيلو جراى للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة.

ولقد أوصت منظمة الصحة العالمية W.H.O بحد أقصى للسلع الغذائية هو ١٠ كيلو جراى ، ولعدم زيادة طاقة الإشعاع بما يؤثر على السلع الغذائية وضعت لجنة خبراء (من منظمة الصحة العالمية ومنظمة الغذاء والزراعة F.A.O والهيئة الدولية للطاقة الذرية I.A.E.A) حدا أقصى ٥ ميجا الكترون فولت (5 MeV) من أشعة جاما أو أشعة إكس للسلع الغذائية.

ومن المفيد تشعيع الحبوب ومنتجاتها والفواكه الجافة والكاكاو وغيرها لمنع الهجوم الطفيلى والتلف والتلوث البكتيرى. فقد وجد أن الجرعة المنخفضة أو المنخفضة جدا فعالة جدا ضد التلف البكتيرى والفطرى والخميرى، فتطول فترة صلاحية الأغذية بذلك. فإشعاع الأسباراجس وعيش الغراب بجرعات ٠,٥ - ٢,٠ كيلو جراى تطيل فترة صلاحيتها كذلك. وإشعاع الفواكه والخضر يساعد على وجودها طوال العام وانتقالها إلى بلدان بعيدة، لذلك يشعع الموز والمانجو والباباز والبلح لإطالة فترة حفظها لتصديرها، كما تشعع الأسماك واللحوم والدواجن لحمايتها من التلف البكتيرى الذى يسبب التسمم الغذائى من الأغذية حيوانية المصدر، لذا تشعع اللحوم بجرعة ٥ - ١٠ كيلو جراى فتعطى نتائج جيدة جدا وتعبأ دون تلوث آخر. وتشعع كذلك التوابل منذ سنوات عديدة فى كثير من الدول بجرعات حتى ١٠ كيلو جراى. وتشعع الدواجن بجرعة حوالى ٣ كيلو جراى فتصل لنظافة تقارب ١٠٠ ٪ بالنسبة للسالمونيلا والكامبيلوباكتر واستافيلوكوكى وكوليستريديم ، وقد تصل هذه الجرعة فى الدواجن إلى ٧ كيلو جراى كما أقرت هذه الجرعة منظمة الصحة العالمية. ويستخدم التشعيع كذلك فى إعداد أجزاء اللحوم كما عند التعبئة كوسيلة تعقيم (منع التلوث). واستخدام الإشعاع يساعد على خفض مستوى النيتريت المضاف

للحوم فيخفض بذلك مستوى أحد مسببات الأمراض المزعجة، كما يساعد التشعيع على العرض بدون تبريد وعلى نعومة اللحوم.

ويرفض معظم الشعب الألمانى أى تكنيك يرتبط بالطاقة النووية لأسباب سياسية وصحية وبيئية خاصة بعد حادث تشيرنوبيل، ففى استطلاع رأى لجمعية مربى الدواجن الألمانية فى بون اتضح أن ٧٥٪ من المستهلكين للحوم الدواجن يرفضون الدجاج المعامل بالإشعاع. ومازال النقاش مستمرا فى هذا الشأن، رغم أن جميع وسائل الحفظ لايمكن أن تمنع المخاطر الصحية سواء من نيتريت أو تدخين أو ملح وغيرها من المواد الحافظة المشكوك فيها لحد كبير.

والعكس فى الولايات المتحدة إذ هناك إقبال كبير على الثمار المشععة، وكثير من الدول الأوربية كذلك وضعت حدا مسموحا به للإشعاع فى منتجاتها وأصبحت تطبق بشكل عملى.

وفى ألمانيا يباح استخدام الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم ماء الشرب والسطوح الخارجية للفواكه والخضراوات والجبن الجاف عند التخزين، وإشعاع الأغذية غير المباشر بتعقيم الهواء بالأشعة فوق البنفسجية مسموح كذلك رغم منع استخدام الإشعاع فى ألمانيا.

وعموما فالسلع حيوانية الأصل أقل معاملة بالإشعاع، وتتفاوت الدول المختلفة فى ذلك كما يتضح من الجدول التالى:

البلد	المنتجات	الجرعة المسموح بها (K Gy)
بلجيكا	بطاطس	حتى ٠,١٥
	فراولة	حتى ٣,٠
	بصل	حتى ٠,١٥
	ثوم	حتى ٠,١٥
	توابل	حتى ١٠,٠
	أعشاب (شاى)	حتى ١٠,٠
فرنسا	فراولة	حتى ٣,٠
	بطاطس	٠,٠٧٥ - ٠,١٥
	بصل	٠,٠٧٥ - ٠,١٥
	ثوم	٠,٠٧٥ - ٠,١٥
	توابل	حتى ١١,٠
	خضراوات جافة	حتى ١٠,٠
	لحوم دواجن مشفية	حتى ٥,٠
	ثمار جافة	حتى ١,٠
	أفخاذ ضفادع	٤ - ٨
	بروتين	حتى ٤

إيطـــاليـا	بطاطس/بصل/ثـــوم	٠,١٥ - ٠,٠٧٥
هولنـدا	خضراوات جافة	حتى ١٠
	توابل وأعشـــاب	حتى ١٠
	دواجـــن	حتى ٣
	سمك (فليـة)	حتى ١
	وجبات معقمة مجمدة	حتى ٢٥

يجرى التشعيع بعدة طرق بغرض التعقيم بمساعدة الأشعة التأينية Ionizing Rays.

وأنواع الأشعة الممكن استخدامها فى الإشعاع تشمل:

١- الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays (UV) .
٢- أشعة إكـــس أو جاما X-Rays or Gamma Rays .
٣- أشعة إليكـــــترونية Electron Rays .

وفى ألمانيا تستخدم الأشعة فوق البنفسجية للتعقيم للهواء فى المخازن، بينما فى هولندا تعقم السلع الغذائية بأشعة جاما (ومن هذه السلع التوابل والبطاطس). ويتم حتى الآن مناقشة تعقيم التوابل بأشعة جاما أو بالأشعة الإلكترونية، لأن الوسيلة المستخدمة حتى الآن هى أكسيد الإيثيلين Ethylene Oxide وهو ضار جدا، وعند تعقيم التوابل بالأشعة تستخدم عادة جرعة منخفضة حتى 10 KGy أو 1 Mrad.

ويجب الحذر من **الأشعة فوق البنفسجية** لتأثيراتها الفسيولوجية على جلد الإنسان، سواء الموجبة أو السالبة. فتأثيراتها السالبة تشمل احمرار الجلد والتهابا مؤلما لملتحمة العين. لذا تستخدم جرعات معينة من الإشعاع لابتعاداها. شدة الإشعاع الضعيفة جدا يمكن التعرض لها لمدة طويلة دون آثار جانبية، وقد وضعت السلطات الطبية الأمريكية الحدود التالية:

١- للتعرض المستمر للأطـــفال ٠,١ ميكروواوات/سم٢ .
٢- تعرض ٧ ساعات/يوم للبالغين ٠,٥ ميكروواوات/سم٢ .
٣- تعرض ساعة/يـــوم للبالغين ٣,٥ ميكروواوات/سم٢ .

واستخدام لمبات الأشعة فوق البنفسجية باستمرار أو فى حجرات المرضى يستدعى تغطيتها لتفادى الإشعاع المباشر، مع تركيبها على ارتفاع ٢,١ م فتكون شدتها ٠,٤ ميكروواوات/سم٢ على ارتفاع ١,٧٥ م. وللأغراض الصناعية طورت لمبات أشعة فوق بنفسجية تعطى كثافة ١ ميكروواوات/سم٢ على ارتفاع ١,٨ م.

ويستخدم الإشعاع بالأشعة فوق البنفسجية لمنتجات اللحوم سواء فى تعقيم غرف التبريد والمسطحات (مما يقضى على الكائنات الحية الدقيقة وما تسببه من روائح فساد) أو فى تعقيم الماء أو مواد التعبئة، كما يستخدم نفس الإشعاع فى مصانع المياه الغازية وغيرها من السلع الغذائية. هذا بجانب استخدام الأوزون كذلك فى التطهير من الأميبا والبكتيريا والفطريات والأعفان والطحالب ، كما يثبط الأوزون من نشاط الفيروسات وذلك فى ماء الشرب وغيره، وعلى ذلك يحسن الأوزون من طعم ورائحة الماء وينزع ألوانه مما يغنى عن استخدام الكيماويات الأخرى المؤكسدة والمتطلبة بتركيزات عالية للحصول على تأثير مماثل لتأثير الأوزون.

وتعقيم الماء بالأشعة فوق البنفسجية عملية طبيعية ، فالأشعة فوق البنفسجية تشابه الضوء المرئى إلا أنها غنية بالطاقة، وهى تسبب تغييرات توقف العمليات الحيوية فى الكائنات الحية الدقيقة فتثبط بذلك من هذه الكائنات، وهى طريقة فعالة ورخيصة وغير خطرة مقارنة بالمطهرات الكيماوية، كما أنها سريعة التأثير، وبدون بناء مواد سامة، إذ لاتغير فى محتوى المعادن فى الماء، ويحتفظ الماء بطعمه الطبيعى، ولا يوجد خطر من زيادة جرعة الإشعاع، ولاتؤدى إلى تآكل، والتعقيم المثالى يتم باستخدام طول موجة ٢٥٤ نانومتر.

وتأثير الإشعاع على الكائنات الحية الدقيقة مميت للتأثير الضار للأشعة المؤينة على الجزيئات الكبرى للمواد، ونظرا لأن الحمض النووى D.N.A (الذى يحمل كل المعلومات الوراثية) للميكروبات وزنه الجزيئى كبير فإن الميكروبات سهل الإضرار بها خاصة فى السلع الغذائية منخفضة الوزن الجزيئى. ويعبر عن مقاومة الإشعاع للكائنات الحية الدقيقة بقيمة D_{10} (الجرعة بالكيلو جراى اللازمة لقتل ٩٠٪ من ميكروبات عشيرة ما) فنجد كثيراً من الكائنات الدقيقة تنخفض بوضوح مثل الإشيريشيا والسالمونيلا والخمائر، ولكن مقاومة الإشعاع تتوقف على عوامل أخرى مثل نوع وحرارة السلعة المعاملة بالإشعاع وكذلك نشاطها المائى (a_w)، فالسالمونيلا حساسة للإشعاع فى السلع السائلة مرتين قدر حساسيتها فى لحم الخيل.

وفيما يلى قيم D_{10} لبعض الكائنات الحية الدقيقة الهامة فى مراقبة الأغذية:

النـــــــــــوع	D_{10} KGy
بزيدومـــــوناس	٠,١٠ - ٠,٢٠
إيشيريشـياكولاى	٠,١٢ - ٠,٤٥
ســـــالمونيـــلا	٠,٢٠ - ٠,٤٥
ستربتوكوكس فيكاليس	٠,٥٠ - ١,٠
ستربتوكوكس فيكم	٠,٦ - ١,٤

ستافيلوكوكس أورس	٠,١٤ - ٠,٧
كوليستريديم بوتيولينوم	١,٥ - ٢,٥
سكارومايسيس سيرفيسيا	حوالى ٠,٥
بنسليوم، أسبرجيلس	٠,٥ - ٠,٧

وعموما فإنه عند التلوث بالسالمونيلا يجب رفع جرعة الإشعاع لضمان قتل الميكروب (حتى مع السلع المعبأة) وإن كان يخشى من زيادة إنتاج سموم بعض الكائنات الحية الدقيقة.

وللتغلب على مشاكل التبريد وتكلفته، والمدد اللازمة للإنضاج، والفقد الحادث من التبخير (تجفيف) من تيارات الهواء وانخفاض الرطوبة النسبية، أمكن استخدام الأشعة فوق البنفسجية لقتل الجراثيم كطريقة تعقيم حديثة وفعالة. فالأشعة فوق البنفسجية جزء من الضوء الطبيعى ذى تردد وطول موجة معينين.

فالضوء يتكون من عدة أشعة :

١- تأينية	أقل من ١٠ نانومتر.
٢- فوق بنفسجية	١٠ - ٤٠٠ نانومتر.
٣- مرئية	٤٠٠ - ٧٨٠ نانومتر.
٤- تحت حمراء	٨٠٠ - ٨٠٠٠ نانومتر.
٥- راديو	٣ - ١٠ ^ ٥ سنتيمتر.

وللأشعة فوق البنفسجية عدة استخدامات :

١-طول موجة ٤٠٠ - ٣١٥ نانومتر: تستخدم أساسا فى إجراء التفاعلات الكيماوية الضوئية ذات الطبيعة الصناعية (طلاء فوق بنفسجى) وفى التخليق، وتسمى أشعة فوق بنفسجية A.

٢-طول موجة ٣١٥ - ٢٨٠ نانومتر: تستخدم فى الطب للعلاج (ضد الشلل)، وتسمى أشعة فوق بنفسجية B.

٣-طول موجة ٢٨٠ - ٢١٠ نانومتر: لها تأثير مميت على البكتيريا والجراثيم خاصة فى مدى ٢٥٤ نانومتر، وتسمى أشعة فوق بنفسجية C، وتستخدم فى المستشفيات وفى صناعة الأغذية وفى أغراض صناعية متعددة. وتعمل هذه الأشعة على التغيير فى نواة خلية الكائنات الدقيقة (الأحماض النووية) فتثبطها ولاتقتلها. ويتوقف تأثير هذه الأشعة على جرعتها (أى شدة الإشعاع ويقاس بالميكروواط/سم٢ فى مدة ثانية).

ويبين الجدول التالى الطاقة اللازمة من أشعة (C) فوق البنفسجية طول موجتها ٢٥٤ نانومتر لإفناء الكائنات الدقيقة:

الكائـــن الدقيـــق	الطاقة ميكرو وات/ثانية/سم٢
باسيلس :	
Bacillus anthracis	٤٥٢٠
B. paratyphosus	٣٢٠٠
Corynebacterium diphtheriae	٣٣٧٠
Eberthella typhosa	٢١٤٠
Escherichlia coli	٣٠٠٠
Micrococcus sphaeroides	١٠٠٠٠
Proteus vulgaris	٢٦٤٠
Pseudomonas aeruginosa	٥٥٠٠
P. fluorescens	٣٥٠٠
Sarcina lutea	١٩٧٠٠
Staphylococcus albus	١٨٤٠
S. aureus	٢٦٠٠
S. lactis	٦١٥٠
فطريـــات :	
Saccharomyces ellipsoideus	٦٠٠٠
S. sp.	٨٠٠٠
S. cerevisiae	٦٠٠٠
خمـيرة خبيـز	٣٩٠٠

وللأشعة فوق البنفسجية مصادر طبيعية كالشمس، وصناعية فى ثلاث أشكال هى: لمبات تفريغ، وأخرى فلورسنتية، وثالثة توهجية. ولمبات التعقيم يستخدم فيها ضوء الأشعة فوق البنفسجية بطول موجة ٢٥٤ نانومتر مصدرها لمبات تفريغ زئبقية منخفضة الضغط من زجاج خاص يمتص الضوء للأشعة فوق البنفسجية طول ١٨٥ نانومتر لمنع تكوين الأوزون.

ويتم تعقيم الجو بالأشعة فوق البنفسجية بإحدى طريقتين :

١- إشعاع مباشر للجو فى الحيز الكلى فى عدم وجود الإنسان إلا مع احتياطات أمن لحماية الجلد والعيون فيمكن دخول الإنسان إليها.

٢-إشعاع غير مباشر لحيز الجو، بمعنى أن تزيد كثافة الأشعة فوق البنفسجية في المسافة أعلى من ٢,١٠ سم وبدورة الهواء الطبيعية في الحيز يمر الهواء على منطقة الإشعاع فيتم تعقيمه، وهذا النظام يسمح باستمرار تواجد الإنسان فيه، وحتى المرضى لايخشى منهم لتواجدهم في هذا النظام بدون قيد، كما لايخشى على المواد الصناعية أو المواد الحساسة للأشعة فوق البنفسجية.

والطريقة الأولى أكفأ في التعقيم، لكن تزاد كفاءة الطريقة الثانية بتقليب الهواء بواسطة مراوح. وتستخدم طريقة التعقيم غير المباشر في أماكن تبريد السلع الغذائية خاصة اللحوم ومنتجاتها لإطالة فترة تخزينها (من ٣ أيام بدون إشعاع إلى ٤ أيام بإشعاع غير مباشر أو ٦ أيام بالإشعاع المباشر على ٥ °م). لكن تأثيرها بدون شك يتضاءل لو كانت اللحوم ملوثة مبدئيا فيكون تعقيم الهواء ضعيفا.

وتعقيم الجو لحيز التخزين لا يطيل فترة التخزين فقط، بل يساعد على رفع رطوبته النسبية بما يقلل من خسائر الفقد بالجفاف، ويمكن من رفع درجة الحرارة جزئيا فيؤدى إلى خفض تكاليف التبريد ويحسن من نضج اللحوم بالتالى، كما يؤدى التعقيم إلى تلافى أضرار الفطريات التى تنمو لتكثف الماء. ويتم تعبئة اللحوم تحت تفريغ وفى وجود تعقيم الجو بالطريقة غير المباشرة، مع تعقيم الأغلفة كذلك قبل استخدامها بالطريقة المباشرة لتجنب خطر الميكروبات.

وإن كانت بكتيريا الأغذية يمكن قتلها بالإشعاع ، فإن الفيروسات مقاومة على غير العادة وتحتاج لإبادتها معاملة حرارية إضافية. والاستخدامات العملية الممكنة: بإشعاع أوراك الدجاج بجرعة ١ - ٦ كيلو جراى تكفى للتحكم الكامل فى السالمونيلا، وينخفض كذلك عدد الميكروبات الكلية الهوائية ٢٠ - ٣٠٪. وذبائح الدجاج الكاملة الملوثة بالسالمونيلا $١٠^{٦}$ - $١٠^{٧}$ تعامل بالإشعاع ٤ كيلو جراى كافية لقتل هذه الكمية من الميكروب. وإشعاع أسماك المبروك ١,٥ - ٢ كيلو جراى تطيل مدة صلاحيته بحفظه على ٣ °م.

وهناك طرق معتمدة للكشف على السلع المعاملة بالإشعاع ، وإن كان صعب الكشف عن أحد المكونات المعاملة بالإشعاع كالكشف مثلا عن التوابل المشعة فى منتج من منتجات اللحوم.

ويجب توخى الدقة والحذر بتتبع توصيات لجنة W.H.O/F.A.O/I.A.E.A (٥ - ١٠ ميجا اليكترون فولت) بوضع قوانين دقيقة لحد السماح الأقصى من الأشعة الإلكترونية وجاما ورنتجن (إكس).

إن نسبة الكونيديا التى قاومت جرعات مختلفة من أشعة جاما تناقصت بزيادة جرعة الإشعاع، فكانت النسبة المئوية للكونيديا المقاومة لجرعات ٢٥ ، ٥٠، ٧٥، ١٠٠ كيلو راد هى ٣٧,٥٪، ٢١,٣٣٪، ٨,٦٦٪، ٣,٦٦٪ على التوالى. المعاملة بالأشعة تؤثر على إنتاج حامض الستريك والصفات

الفسيولوجية الأخرى وكذا اختلافات فى الشكل الظاهرى. فالكونيديا المقاومة للأشعة رفعت من إنتاج حمض الستريك (جرعة ٢٥، ٥٠ كيلو راد) أو أنقصته (على جرعة ٧٥، ١٠٠ كيلو راد).

وغالبا ما تحمل **الأعلاف الحيوانية** المسببات المرضية ومنها السالمونيلا Salmonellae وغيرها، والتى بالتالى تلوث ذبائح الحيوانات فتدخل السلسلة الغذائية ، ومن هنا يتطلب ذلك ضرورة تعقيم الأعلاف بمعنى تثبيط الكائنات الممرضة أو إزالة تلوث هذه الأعلاف. وإذا كانت حرارة التكعيب للعلف المخلوط أو إضافة الأحماض كمضادات ميكروبية تؤدى إلى خفض معنوى فى مسببات الأمراض، إلا أنها لاتذيلها كاملا، فإن الإشعاع بأشعة جاما يوصل للهدف الأخير وهو إزالة هذه المسببات المرضية وذلك باستخدام جرعات فى حدود ٠,٣ ميجا راد M. Rad (فى هولندا)، ٠,٥ - ٠,٦ ميجا راد (فى اليابان)، ١,٥ - ٢,٥ ميجا راد (فى المجر) والتى توقف كذلك نمو العفن والنشاط الميكروبى.

العوامل المؤثرة على إزالة تلوث الأعلاف الحيوانية بالاستعانة بالإشعاع :

أولا: ميكروبيولوجيا :

١- **العوامل المؤثرة على مقاومة الإشعاع** : تعتمد الجرعة المستخدمة من الإشعاع لتثبيط التلوث الميكروبى فى العلائق ومواد العلف على عدة عوامل، تشمل عدد الملوثات، وأنواعها، وتأثير البيئة، وحد الأمان المتطلب مع النظر لاحتمال الحيوية. يختلف العدد الأولى للوحدات المكونة للمستعمرات للكائنات الحية الدقيقة فى الأعلاف المعملية، لكنه عموما يقع فى المدى ١٠ ^{٢} - ١٠ ^{٦} /جم. ويختلف نوع الكائنات الملوثة لكنه يشمل جراثيم البكتيريا والتى تكون عموما أكثر مقاومة للإشعاع عن الكائنات النامية، ومن بينها ستربتوكوكى، ميكروكوكى، سالمونيلا Streptococci, Micrococci, Salmonellae. ولقد احتوت العلائق المضغوطة Pelleted أساسا على جراثيم بكتيرية كانت أصلا موجودة فى المكونات الخام للعليقة. ويؤدى الضغط Pelleting الذى يشمل الطبخ إلى تثبيط عديد من الكائنات النامية الحساسة للحرارة.

٢- **اختيار الجرعة** : وجد أن الجرعة ١,٠ ميجا راد M.Rad تعد كافية فى علاج علائق الحيوانات المعملية والتى تؤدى إلى وجود جرثومة واحدة/١٠ جم عليقة، بينما فى العلائق التى ينبغى خلوها من الجراثيم فإنه ينبغى استخدام جرعات أكبر للأمان الحدى فيستخدم ٤ - ٥ ميجاراد غالبا. أما العلائق النقية التى تتكون من مكونات نقية فتستخدم جرعات أقل كثيرا،

غالبا ٠,٢٥ - ٠,٥ ميجا راد ، لأن هذه المكونات عادة قليلة المحتوى الميكروبى كمًا ونوعا، كما أن المكونات النقية تكون عرضة للتغيير الكيماوى، فكلما قلت الجرعة قل بذلك هذا التغير ٠ وبالنسبة لعلائق حيوانات المزرعة ومكوناتها العلفية فإن الهدف هو غياب السالمونيلا وشبيهاتها من البكتيريا ، والنتائج تشير إلى وجود بعض سلالات السالمونيلا مقاومة للإشعاع فى مختلف الأغذية والأعلاف، والجرعة المطلوبة لبلوغ درجة عالية من التنبيط هى حوالى ١,٠ ميجاراد، وإن كان ينصح بجرعة منخفضة ٠,٣ ميجاراد مسبوقة بإضافة كيماوية (مثل حمض البروبيونك) أو ضغط Pelletizing ٠ وقد ثبت أن غياب بكتيريا إيشريشياكولى E. Coli ليس دليلا مناسبا لكفاءة إزالة السالمونيلا، بل يجب التأكد من غياب الإنتيروباكتيرياسيا Enterobacteriaceae فى كمية معلومة من العلف كبديل ٠

٣- **الكائنات الملوثة الأخرى** : حتى الجرعات المنخفضة فإنها تتحكم فى معظم أنواع الأعفان Moulds، والطفيليات Parasites، والديدان Helminths، والحشرات Insects، إلا أن الفيروسات Viruses لا يمنع حيويتها كاملا رغم إمكانية خفضها بالجرعات الكبيرة ٠

ثانيا: غذائيا :

١- **البروتينات** : قد يؤدى الإشعاع إلى خفض بعض الأحماض الأمينية فى البروتينات الموجودة فى علائق الحيوانات المعملية المكونة أساسا من الحبوب، فمثلا يمكن خفض الليسين والمثيونين الممكن الإستفادة منها من العليقة ، وإن كان هذا الخفض ضئيلاً جدا ، كما أن التغييرات الحادثة فى القيمة الغذائية للبروتين (بتقدير القيمة الحيوية، الاستفادة من البروتين الصافى، معدل كفاءة البروتين ، الهضم الحقيقى) تغييرات يمكن إهمالها لضآلتها حتى مع الجرعة العالية (٥ ميجاراد أو أكثر) ٠

٢- **الفيتامينات** : أكثر الفيتامينات تأثرا بالإشعاع هى فيتامينات (أ، هـ)، كما يحدث بعض الهدم للثيامين والبيريدوكسين، وإن كانت علائق حيوانات المعمل لاتتأثر، ولايحدث مشاكل فى التطبيق العملى، إلا أن الموقف يختلف بالنسبة للأعلاف التجارية لحيوانات المزرعة، إذ يتطلب الأمر فحص كل توليفة علف ٠

٣- **الدهون** : قد تتأكسد الدهون فى العليقة بأثر الإشعاع، وهذا يتوقف على درجة عدم تشبع الأحماض الدهنية ٠ لم تنشأ مشاكل فى علائق حيوانات

المعمل المحتوية على ٣ - ٦٪ دهن. إلا أن العلائق الغنية بالدهن تتزنخ طبقا لطبيعة الدهن وجرعة الإشعاع ، وإن كانت التعبئة تحت تفريغ تقلل من أكسدة العلائق، كما اقترح استخدام مضادات الأكسدة لمنع هذه التأثيرات. وجود المعادن ربما يؤثر على أكسدة الدهون.

٤- **الكربوهيدرات** : لايشكل الإشعاع مشكلة للكربوهيدرات ، وإن كانت الألياف الخام واللجنين في بعض العلائق ربما تتغير لحد بسيط ، وإن كان هذا التغيير مفيدا للحيوان. وقد تنخفض لزوجة النشا باستخدام الإشعاع.

٥- **الإضافات الغذائية والملوثات** : ينبغي الانتباه لأى آثار للإشعاع ربما تحدث على المضادات الحيوية أو الكيماويات، كالمبيدات الحشرية التي قد تتواجد في العليقة قبل معاملتها بالإشعاع كنوع من الملوثات في علائق الحيوانات المعملية أو كإضافات إلى أعلاف حيوانات المزرعة (كالمضادات الحيوية أو مضادات الأكسدة).

٦- **الطعم** : لم تحدث تغييرات معنوية لمعظم علائق حيوانات المعمل، رغم أن حدوث التزنخ قد يؤثر سلبيا بعدم تقبل العليقة. لم يؤثر الإشعاع على قوام العليقة.

٧- **النمو والتكاثر والصحة العامة** : لم تسجل أى تأثيرات عكسية لعلائق حيوانات المعمل المعاملة بالإشعاع المستخدمة على مدى واسع ولمدة طويلة في بيوت الحيوان ذات السمعة الطيبة والمستوى العالى من مراقبة الجودة.

٨- **المقارنة مع طرق التعقيم الأخرى** : أجريت مقارنات بين العلائق غير المعاملة، والمعاملة بالإشعاع، والمعاملة بالضغط بالبخار Autoclaved، والمعاملة بأكسيد الإيثيلين Ethylene-Oxide. وعلى عكس الإشعاع فإن المعاملة بالحرارية للعليقة تؤثر سلبيا على جودة البروتين، كما تنخفض القيمة الغذائية الكلية بالمعاملة بالبخار والضغط Autoclaving عن المعاملة بالإشعاع. كما أن المعاملة الحرارية ربما تزيد من ثبات العليقة وتضر بالهضم. متبقيات أوكسيد الإيثيلين ونواتج تفاعله في العلائق المعاملة ربما تصل إلى الحدود السامة خاصة إذا لم تراع الاحتياطات لإزالتها قبل التغذية.

ثالثا: إنتاجيا :

إن الكميات من علائق حيوانات المعمل التي تعامل بالإشعاع في مختلف البلدان تعد قليلة نسبيا بالمقارنة بإجمالي الكميات المنتجة من هذه العلائق.

ففى اليابان ينتج ١٠ آلاف طن فى السنة يعامل منها بالإشعاع ٨٠ طنا فقط سنويا. وفى بريطانيا ينتج ٣٠ ألف طن يعامل منها ١٢٠٠ طن فقط سنويا. وعلى مستوى العالم تعامل سنويا حوالى ٢٥٠٠ طن من أعلاف حيوانات المعمل بالإشعاع. وبالنسبة لأعلاف حيوانات المزرعة التى ينتج منها عديد من مليونات الأطنان سنويا فإن تطبيق معاملتها بالإشعاع يعد أمرا مختلفا، وإن كان ينبغى معاملة جزء منها وخاصة عند شدة تلوث مكون ما كمسحوق السمك مثلا الذى يكون حوالى ٠,٥ مليون طن سنويا، وحتى هذه الكمية البسيطة فإنها تتطلب إمكانيات كبيرة لمعاملتها بالإشعاع.

رابعا: اقتصاديا :

علائق حيوانات المعمل التى تعامل بالإشعاع ضئيلة لدرجة لا تدعو إلى تشييد مكان مخصص لذلك، عموما معاملة ألف طن سنويا بالإشعاع بجرعة ٢,٥ ميجاراد، تحتاج ٢٠٠ ألف كيورى Ci من الكوبلت C_o^{60}. فالطريق الأكثر اقتصادية لمعاملة كميات بسيطة هو إرسالها إلى الأماكن التى تتوفر فيها إمكانية الإشعاع، حيث إن المعاملة بالإشعاع تضيف إلى تكاليف العليقة بندا آخر. وسعر الإشعاع يتباين ما بين البلدان وبعضها طبقا لوفرة إمكانيات الإشعاع وعلى أساس الكميات المعاملة. وقد تكون تكاليف الإشعاع أقل من تكاليف المعاملة بالبخار Autoclaving خاصة لو أخذنا فى الاعتبار الأضرار التى تلحق بالعناصر الغذائية بهذه المعاملة الأخيرة.

أما أعلاف حيوانات المزرعة فكمياتها كبيرة وتتطلب إمكانيات كبيرة لمعاملتها بالإشعاع، وقد تتطلب ماكينات إلكترونية، وذلك فى موقع تصدير أو استيراد المكونات العلفية. وتكون تكاليف معاملة الطن أقل مما فى أعلاف حيوانات المعمل.

خامسا: المراقبة :

تراقب عملية الإشعاع بقياس الجرعة الممتصة فى العليقة بالطرق المختلفة المتوفرة ، مع حفظ ثبات سرعة جهاز التوصيل للحصول على تجانس فى الجرعة الواصلة لنفس المادة المعاملة. وتؤدى التعبئة للعليقة إلى سهولة تدوين البيانات عليها، من حيث محتويات العبوات وموعد الإشعاع ورقم الخلطة على كل كيس أو كرتونة فردية.

سادسا: مستقبليا :

غير معروف الكثير عن أثر الإشعاع (بمستوى ١ - ٥ ميجا راد) على فيتامين (د) كأحد الفيتامينات الذائبة فى الدهون (التى تتأثر بالإشعاع تحت

ظروف معينة) ، لذا يتطلب ذلك مزيدا من البحث والدراسة لمعرفة أثر الإشعاع على أكسدة الدهون والفيتامينات الذائبة فى الدهون، وتأثرها بالإضافات المعدنية، وإمكانية استخدام مضادات الأكسدة، والتعبئة تحت تفريغ سواء كعوامل منفصلة أو مرتبطة، كما يتطلب الأمر معرفة أثر الإشعاع على التخزين (بعد المعاملة بالإشعاع) على الخواص الغذائية، والتركيز للوصول إلى أقل جرعة يمكن استخدامها للوصول إلى المستوى الميكروبيولوجى الضرورى لتقليل التكاليف، مع المحافظة على جودة العلائق فى نفس الوقت.

الآثار السلبية لتشعيع الأغذية :

الأشعة المنتجة للإلكترونات السريعة يسمح منها بجرعة ١٠ ميجا إلكترون فولت طبقا لتوصيات W.H.O والتى لاتخلف فى السلع الغذائية إلا نشاطا إشعاعيا غير محسوس ولمدة قصيرة، ومعدوم التغييرات السامة على دهن الغذاء. وتتشابه منتجات تشعيع الدهن مع تلك المنتجات من الأكسدة الذاتية للدهن أو تزنخه، بينما التغييرات فى البروتين من الإشعاع تشبه ما يحدث عند معاملته حراريا ، وقد تؤدى المعاملة بالإشعاع إلى تثبيط نشاط الإنزيمات. والفيتامينات حساسة للإشعاع خاصة فيتامين K، E ، C ويشبه الفقد الحادث فيها من جراء الطبخ. وأثناء الإشعاع تتحرر أصول (شوارد) حرة Free Radicals نشطة كيماويا؛ لذلك فعمرها قصير. ومع ذلك كله فمعالجة الأغذية (خاصة الخضراوات) بالإشعاع تقلل الفاقد منها بالتلف من ٤٠٪ إلى ٥٪ فقط.

ومواد التعبئة كالزجاج والمعدن ثابتة ضد الإشعاع (٣٠ جراى وحتى ١٠ كيلو جراى) وكذلك البولى ستيرول والبولى كاربونات والنيلون والكاوتشوك والسيليكون. بينما منتجات السليلوز حساسة جدا للإشعاع، لذلك فبعض أغلفة السجق غير مخصصة للإشعاع لتأثرها به، وعلى ذلك فجودة وطعم السلع المعاملة بالإشعاع لاتتوقف فقط على الإشعاع.

وقد يؤثر الإشعاع على لون ورائحة وطعم السلع المعاملة بالإشعاع وذلك حسب السلعة ذاتها وحسب جرعة الإشعاع. لذا وجب مراعاة الجرعة الموصى بها لكل سلعة. فالبصل والبطاطس المعامل بالإشعاع بجرعة ٠,٢ - ٠,٢٥ كيلو جراى تؤدى إلى تغييرات فى طعمها. واللبن المعامل بمقدار ٠,١٥ كيلو جراى تغير طعمه كذلك، بينما اللحم على العكس حتى ١٠ كيلو جراى لم يظهر أضرارا حسية. لحوم الدواجن المعاملة حتى ٤ كيلو جراى لم تظهر أى تغييرات حسية، مع حفظها مجمدة حتى ٣ أشهر، لكن لو زادت مدة الحفظ يتغير الطعم لأكسدة الدهون.

وفيما يلى التفاعلات الكيماوية لمكونات الغذاء بعد إشعاعه:

المكون الغذائى	نوع التفاعل
أحماض أمينية	نزع الأمين، والكربوكسيل
بروتينات	كسر الروابط الببتيدية، نزع الأمين، بناء مجاميع أمينية حامضية جديدة، بناء مركبات كاربونيل، تحطيم أحماض أمينية
كربوهيدرات	بناء مبلمرات، تحلل مائى، تفاعل ميلارد
دهون	بناء أصول، نزع الكربوكسيل، بناء مركبات كاربونيل وألدهيدات وتغييرات أكسيدية وغير أكسيدية وبيروكسيدات

مخاطر التشعيع :

ليست هناك مخاطر مباشرة على صحة مستهلك الأغذية المعاملة بالإشعاع، لكن بشكل غير مباشر من خلال خفض جودة الغذاء ومحتواه الفيتامينى، أو من خلال نواتج الهدم لمكونات الغذاء بالإشعاع، وذلك من نتائج تجارب حيوانية لمدة طويلة. والإشعاع للحوم لم ينتج أى مكونات ضارة، ولم يؤثر على هضم أو القيمة الحيوية للبروتين (عكس ما يحدث بالتسخين) ومن نتائج أبحاث الجيش الأمريكى على المتطوعين (١٩٥٥ - ١٩٦٥م) وجد أنه لم تؤد التغذية الآدمية على سلع معاملة بالإشعاع لأى أضرار صحية. كما استخلص مشروع إشعاع الغذاء الدولى (I.F.I.P) - ومركزه فى معهد بحوث الأغذية فى كارلسروه Karlsruhe بألمانيا - أن الجرعة حتى ١٠ كيلو جراى لاتضر إطلاقا بصحة مستهلك الأغذية المعاملة. والجرعات العالية يصاحبها فقد فى المحتوى الفيتامينى (خاصة فيتامين C) وتغيير الطعم والرائحة.

وهناك دول لم تشرع لاستخدام الإشعاع لأسباب سياسية ونفسية أكثر منها علمية. ويؤدى الإشعاع المباشر إلى تأثيرات سلبية على اللحوم خاصة بالجرعات العالية من الأشعة فوق البنفسجية، إذ تشجع أكسدة الدهون بأوكسجين الجو، مما ينتج عنه هيدروكسى بيروكسيدات للأحماض الدهنية، والتى تتحلل إلى ألدهيدات وكيتونات وأحماض دهنية منخفضة الوزن الجزيئى ، مسببة التزنخ المعروف بتغييرات الرائحة.

ويؤثر الإشعاع (فى التعقيم البارد) على الرطوبة للذبائح، إذ تتأين بعض جزيئات الماء إلى أيونات أيدروجين H^+ وهيدروكسيل OH^- نشطة فتدخل فى عمليات أكسدة واختزال كما تتكسر روابط كربونية. ويتوقف تأثير الإشعاع على البروتين فى الذبائح طبقا لتركيز الإشعاع فقد تنفصل جزيئات البروتين أو يترسب بفتح السلسلة الببتيدية وإطالة فترة التعرض للإشعاع ينتج عنها انفصال

للأمونيا ومركبات كبريتيـة وثـانى أوكسيد كربـون من البروتينـات. كمـا يؤثـر الإشعاع علـى **الإنزيمـات** فقد تتلفهـا تمامـا، كمـا يـؤدى الإشـعاع إلـى **اختـزال الهيموكروم** متحولا إلى **هيموكروم** ذى اللون الأحمر الناصع فى اللحوم المطهيـة، ثم يتحول إلى رمـادى مـائل للبنـى بـالتعرض للهـواء. وعـادة تحتفظ الدواجن المعاملة بالإشعاع بلون وردى داخليا بعد طهيها.

والتعقيم البارد **يمنع الفساد** الذى قد يصيب الدواجن **داخل غرف التبريد** بفعل البكتيريا مثل ظهور نكهة غريبة والتبقع باللون الأخضر. وقد أدت معاملة **زيت الصويا** (كمكون علفى فى علائق الدجاج) بالإشعاع بالجرعات العالية (٣ - ٦ ميجاراد) لضرر بالكتاكيت فى شكل امتدادات الأمعـاء والكبد وضعف كرات الدم الحمراء ونقص الكفاءة الغذائية والطاقة التمثيلية وهضم العليقة خاصة الدهن (وإن لم تؤثر على الجرذان Rats والأرانب)، بينما معامل المكونات الأخرى لم تسبب أى ضرر للكتـاكيت فيما عدا نقص الطاقـة التمثيليـة. إلا أن معاملـة الأعـلاف الخشنة (دريس برسيم حجـازى - قش حبوب - قوالـح أذرة - ردة قمح) بالإشـعاع تخفض محتواها من الألياف الخام بشكل يتناسب مع جرعة الإشعاع.

إن تشعيع عليقة كتاكيت تحتوى ١٠٪ زيت فول صويا بجرعة تتراوح ما بين ٠,٦ - ٦ ميجاراد أدى إلى خفض محتوى العليقة من الدهن مع تكون كمية محسوسة من البيروكسيد تزيد بزيادة الجرعة الإشعاعية، وتؤدى زيادة جرعة الإشعاع إلى خفض استهلاك العلف والكفاءة الغذائية عنه فى العليقة غير المشعة، وتنخفض الطاقة الميتابوليزمية ومعاملات هضم العليقة خاصة من الدهن وذلك بالإشعاع، كمـا يتسـع كل من الأمعـاء الدقيقة والكبد. نفس الأعراض وجدت فى الكتاكيت المغذاة على عليقة محتوية على زيت مؤكسد. وتشعيع العلائق غير المحتوية على زيت لها تأثير قليل على النمو، ويرجح أن يكون التأثير راجعا للبيروكسيد أو غيره من نواتج أكسدة الدهن المتكونة بأشعة جاما.

وتشعيع **الذرة** بأشعة جاما بمقدار ٣ أو ٦ Mrad لا تؤثر على محتواه من البروتين، ولكن تخفض الدهون من ٤,١ إلى ٣,٨٪ بالجرعة العالية من الإشعاع، كما يزيد رقم البيروكسيد من صفر إلى ٥,٣ بالجرعة الصغرى، وإلى ٢٨,٩ بالجرعة العالية، كما زادت قيمة الكربونيل من ٤,١ إلى ٤,٨ ثم إلى ١٠,٣ بكلا الجرعتين على الترتيب، وعند تغذية الكتاكيت سن يوم على هذه الذرة انخفضت الكفاءة الغذائية للذرة ذى الجرعة العالية من الإشعاع، كما انخفضت معاملات هضم البروتين والطاقة الميتابوليزمية للذرة ذى الجرعة الإشعاعية العالية. كما أن تخزين الذرة المشعع (حتى ٦ ميجاراد) على حرارة الغرفة يزيد رقم البيروكسيد فيه ويهدم فيتامين هـ والتغذية عليه تصيب الكتاكيت بورم المخ والنفوق فى ظرف يومين.

وتشعيع حبوب **فول الصويا** بجرعات ٥٠، ١٠٠، ١٥٠ كيلو راد من أشعة جاما بغرض تثبيط مثبط التربسين وإطالة عمر الحبوب، أدى ذلك إلى نقص البروتين والزيت والمعادن فى حبوب فول الصويا مع زيادة النقص بزيادة جرعة الإشعاع. وكانت الأحماض الأمينية الحساسة للإشعاع هى السيستين والليسين وحمض الجلوتاميك والجليسين، وإن زاد الحمض الأمينى ألانين. وبشكل عام انخفضت الأحماض الأمينية الكلية بشكل يتناسب مع جرعة الإشعاع. كما تناقص الثيامين بمعدل ١٠ - ١٢٪ وكذلك فيتامين (أ) بمعدل ٩ - ١٣٪. وقد أدى الإشعاع إلى نقص مثبط إنزيم التربسين بمعدل ٢٥ - ٣٧٪.

فى أفران الموجات القصيرة (ميكروواف Microwave) تتحول طاقة الميكروواف إلى طاقة حرارية، فجزيئات الماء المتواجدة بالغذاء تتحول إلى شق سالب (OH^-) وآخر موجب (H^+) ، وهذه الإلكترونات لجزيئات الماء تنظم موجة كهرومغناطيسية ، وبتغيير اتجاه الحقل الكهربى يتبعه كذلك تغيير اتجاه جزىء الماء فى نفس الاتجاه، وهذه الحركة الثابتة للجزيئات تؤدى إلى تسخين الغذاء فى أفران الميكروواف. وعليه فتسخين الغذاء لا يتوقف على مدة أو على معدل تشغيل الجهاز لكن يتوقف على محتوى الغذاء من الماء أو الملح. وليست هناك خطورة من التسخين بالميكروواف، إذ لاتحدث أى تأثيرات تأينية، لكن مخاطر الجهاز كجهاز كهربائى إشعاعى (قد يؤثر على الجلد والعين والقلب) يتم التحكم فيها باتباع التعليمات تماما بالنسبة لمدى التردد المسموح به، واحتياطات الأمان بفصل الجهاز ذاتيا عند عدم استخدامه، أو فتح بابه، وكذلك بخضوعه لاختبارات جودة إنتاجه وأمانه.

زيادة مدة التسخين أو زيادة التسخين للغذاء تؤدى إلى الفقد الغذائى، وإن كانت طرق الطبخ التقليدية الأخرى تؤدى كذلك إلى تغير فى تركيب الفيتامينات والمعادن تماما كما ينشأ بالتسخين فى أفران الميكروواف. كما يستخدم الميكروواف فى البسترة بشكل تقليدى (فى الصناعة بنجاح) لمعلبات المربة ومنتجات الألبان فى أكواب بلاستيك أو معلبات ورقائق (توست) الخبز وكذلك فى تعقيم الأغذية سابقة الإعداد. كما استخدم الميكروواف فى التعقيم كذلك.

ولاتنقل جزيئات بلاستيك التعبئة للغذاء أى لا يوجد بلاستيك معين لاينصح باستخدامه فى التسخين بالميكروواف، لكن تختلف أنواع البلاستيك فى مقاومتها لدرجات حرارة مختلفة، فمثلا البولى إيثيلين والبولى ستيرين ثابتة وتقاوم حتى ٦٠ °م ، والبولى فينيليدين كلوريد ٧٥ °م والبولى أميد/بولى إيثيلين والبولى إيثيلين تريفيلات، وحمض بولى ثيريفثاليك/بولى إيثيلين تقاوم ١٢١ °م، والبولى بروبيلين ١٥٠ °م ، والبولى أميد ١٥٠ °م. إلا أن إطالة فترة التسخين بالميكروواف للسجق أدت إلى رشح مائى (١.٥٪) وشدة الالتصاق وإن لم يتغير الطعم ولا الرائحة، وتتكمش بوضوح مادة التغليف من خليط (بولى فينيليدين

كلوريد، بولى بروبيلين، البولى إيثيلين)، بينما البولى أميد/بولى إيثيلين يظهر تموجا بسيطا ، لكن إطالة فترة التسخين هذه تخفض بشدة من العد الميكروبى (عدا الليستيريا مونوسيتوجينات، اللاكتوباسيلس فيريديسنس، انتيروكوكس فيسيوم) فخليط البلاستيك غير مقاوم للحرارة بينما البولى إستر أكثر ثباتا للحرارة. ويؤدى استخدام أفران الميكروواف إلى نقص طفيف (خاصة عند استخدام أكياس البولى إيثيلين وعبوات البيركس) فى الأزوت الكلى والبروتينى وغير البروتينى فى البسلة والبطاطس، بينما الطهى التقليدى يؤدى إلى انخفاض معنوى فى هذه المواد الأزوتية، بينما الطهى التقليدى أو فى أطباق ألمونيوم فى الميكروواف يؤدى لأشد فقد فى الأحماض الأمينية ، وهضم البروتينات فى البسلة والبطاطس المطهية بالميكروواف كانت أقل من تلك المطهية تقليديا. ووجد أن أفضل عبوات للطهى للخضراوات بالميكروواف هى أكياس البولى إيثيلين وعبوات البيركس.

ومما سبق يمكن أن نختم هذا الفصل بتوصيات تخفض من تعرضنا لأخطار الإشعاع والتشعيع، خاصة ونحن ضمن الشعوب النامية متواضعة الإمكانيات (العلمية والفنية والطبية والبحثية ، ونكابر وندعى معرفتنا بكل شىء بالفهلوة ونضع رءوسنا مع رءوس الدول الصناعية صاحبة الاختراعات والقدرة على التعامل مع مشاكل التقنية التى من اختراعها).

فعلينا أضعف الإيمان ألا نلقى بمخلفات المراكز البحثية والطبية المشعة فى الصرف الصحى أو مع قمامة المدن، وأن نتبع توصيات الهيئة الدولية للطاقة الذرية فى إنشاءاتنا الذرية أو النووية وفى الحذر فى التعامل والتداول والتخلص من هذه المصادر الإشعاعية، وأن نراقب الله فى الكشف (بذمة) على الأغذية المستوردة والمعونات الغذائية التى تصلنا ومدى خضوعها للمقررات العالمية الموصى بعدم تجاوزها من محتواها الإشعاعى.

مراجع الفصل العاشر :

١- أحمد طاهر عبد الفتاح (١٩٧٤). تلوث البيئة بالمواد المشعة. فى ندوة (التلوث - آثاره وأخطاره وطرق الوقاية منه فى العالم العربى) القاهرة ٢٢ - ٢٥ أبريل ١٩٧٢م المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم.

٢- أحمد والى (١٩٩٦). مجلة العلم عدد ٢٣٦ مايو ١٩٩٦م صفحة ١٢ .

٣- جون دبليو . جو فمان (١٩٨٦). الإشعاع وصحة الإنسان حديث ومختصر. الجزء الأول (ترجمة د. عبد الحسين بيرم). دار الشئون الثقافية العامة ببغداد.

٤- قصى رشيد سعيد (١٩٨٦). الوقاية من الإشعاع والتلوث - منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية. الدار العربية للطباعة.

5-Abdel Kader, M.M. (1985). Abstracts of the 2nd Nat. Cong. of Biochemistry, Cairo Nov. 12 - 14, Arab League Building. Acad. of Sci. Res. and Tech., Cairo.

6-AID (1992). Salz in unserer Ernährung, AID Verbraucherdienst informiert, 1014, Bonn.

7-Anonymous (1979). Decontamination of animal feed by irradiation. Proceedings of an advisory group meeting held in Sofia, Bulgaria, 17-21 October 1977. International Atomic Energy Agency, Vienna. 153 p.

8-Anonymous (1979). Laboratory training manual of the use of nuclear techniques in animal research. Technical Reports Series No. 193. International Atomic Energy Agency, Vienna. 300 p.

9-Böhme, Chr. Fr. (1979). Verpackungs - Rundschau, Heft 6, Ausgabe 10/79.

10-Eggum, B.O. (1979). Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 55.

11-Ejima, Y. *et al.* (1978). Journal of the Faculty of Science, The University of Tokyo, Section IV Zoology,14(2) 177.

12-Ford, D.J. (1979). Influence of irradiation on protein and amino acids in laboratory rodent diet. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 69.

13-Ford, D.J. (1979). Observations on the influence of irradiation on fat and vitamin A in dry laboratory cat diets. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 77.

14-Frey, W. (1991). Die Fleischerei, 42(6) III.

15-Hassan, R.A. *et al.* (1987). J. Agric. Sci. Mansoura Univ. 12: 1381.

16-Ijiri, K. (1978). J. of the Faculty of Science, The University of Tokyo, Section IV Zoology, 14(2) 165.

17-Ijiri, K. (1980). J. of the Faculty of Science, The University of Tokyo, Section IV Zoology, 14(4) 351.

18-Ito, H. & Iizuka, H. (1979). Present status of radiation treatment of animal feeds in Japan. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 15.

19-Kampelmacher, E.H. (1984). Fleischwirtsch. 64: 322.

20-Lapidot, M. (1979). Radicidation and radappertization of animal feeds in Israel, 1968 - 1977. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 43.

21-Ley, F.J. (1979). Application of gamma radiation for the treatment of laboratory animal diets. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 121.

22-Moore,G.S. *et al.* (1984).Bull. Environ. Contam. Toxical., 33: 99.

23-Mossel, D.A.A. (1979). Rationale for the use of ionizing radiation in the elimination of enteropathogenic bacteria from feeds. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 3.

24-Nádudvari, I. (1979). Experience of radiation treatment of laboratory and farm animal feeds in Hungary. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna p: 33.

25-Neweigy, N.A. (1980). Annals of Agric. Sci., Moshtohor, Vol. 13.

26-Sandev, S. & Karaivanov, I. (1979). The composition and digestibility of irradiated roughage, Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 83.

27-Shekib, L.A. *et al.* (1994). J. Agric. Sci. Mansoura Univ. 18: 3267.

28-Sickel, E. (1979). Current and future economic aspects of routine feed sterilization in a laboratory animal facility. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna p: 137.

29-Steinhoff, J. *et al.* (1986). Stern Nr. 23, S. 21.28 Mai. Deutschland.

30-Stolle, A. & Schalch, B. (1993). Die Fleischerei 44: 41.

31-Van Kooij, J.G. (1979). Chemical and biological evaluation of the nutritive value of heat-sterilized and radappertized feed mixtures. Panel Proc. Series, IAEA, Vienna, p: 89.