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 3.08×10^{5} سنة) والكالسيوم ^{41}Ca (عمر نصفه 1.1×10^{5} سنة)، وتحتفظ بتركيزها في الأجواء السفلى بسبب تفاعلات الإشعاع الكوني، وهي أقل أهمية من ^{14}C.

5 ـ 3 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 7×10^{8} سنة) و^{50}V (عمر نصفه 4×10^{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.

9.5 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.