الفصل الثاني

تفاعل الاشعاع مع المادة
والنشاط الاشعاعي

Interaction of Radiation

with Matter & Radioactivity

obeikandl.com

تفاعل الاشعاع مع المادة Interaction of Radiation with matter

الكشف عن الاشعاع او الدروع الواقية يتطلب معرفة الاسس الفيزيائية للتفاعل بين الاشعاع مع المادة ، والتي يتم خلالها انتقال الطاقة من الاشعاع الى المادة التي يتفاعل معها. وهذا التفاعل قد يحصل بين الاشعاع والكترونات الذرة ، بين الاشعاع ونواة الذرة، واخيرا بين الاشعاع والذرة بأجمعها. ان نوع التفاعل وقدرة اختراق الاشعاع للمادة يعتمد على نوع وطاقة ذلك الاشعاع وطبيعة المادة التي يتفاعل معها الاشعاع .

المقصود بالتفاعل بين الاشعاع والذرات او الجزئيات او الالكترونات هو القوة الكهربائية المتبادلة بين الاشعاع والمادة والتي تتضمن قوة تجاذب او تنافر وليس المقصود بها التماس الميكانيكي بين الاشعاع والمادة. وينتج عن ذلك ظاهرة التأين او التهيج وتنقل الطاقة الى المادة والتي يتحول معظمها الى حرارة نتيجة لاهتزاز الذرات والجزيئات.

عندما يمر الإشعاع عبر المادة ، فإنه يرسب طاقته في المادة المعنية.جسيمات ألفا وبيتا هي جسيمات مشحونة كهربائيا ، لذلك فإنها ترسب طاقتها من خلال التفاعل الكهربائي مع الالكترونات في المادة .

أما أشعة جاما والاشعة السينية فإنها تفقد طاقتها بطرق مختلفة ، منها ما ينطوي على تحرير الالكترونات من مداراتها عندما يمتص طاقة الفوتونات. عندما يخترق أي نوع كان من الإشعاع المادة فان بعض الإشعاع يمكن يمتص كليا ، البعض الأخر قد يتشتت ، وبعضها قد يمر في المادة من دون أي تفاعل على الإطلاق. عمليات الامتصاص و التشتت يمكن وصفها وتوضيحها بأنها تفاعل بين الجسيمات. الجسيمات في حزمة الإشعاع تسقط على المادة وإما توقف أو تتشتت. هناك نوعان من عملية فقدان الطاقة عندما ينتقل الإشعاع عبر المادة. في النوع الأول يكون فقدان الطاقة بشكل تدريجي ، حيث ان الإشعاع يفقد الطاقة بشكل مستمر من خلال العديد من التفاعلات مع المواد المحيطة به. وفي النوع الثاني من فقدان الطاقة فهو حركة الإشعاع خلال المواد دون أي تفاعل حتى يحصل تصادم واحد فقط ، يؤدي يفقد كل

الإشعاع لجميع طاقته. وحركة الجسيمات المشحونة في المادة يتميز بالفقدان التدريجي للطاقة حتى يفقد طاقته اجمعها إذا كانت سماكة الوسط كافية.

النيوترونات أيضا تفقد الطاقة بطرق مختلفة ، وأهمها من خلال التصادم مع النوى التي تحتوي على البروتونات وتفقد قسما من طاقتها فتنهدا . وتقسم التفاعلات الى قسمين اساسين هما تفاعل الاشعاع مع الجسيمات المشحونة وتفاعله مع الفوتونات .

2 – 1 تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة

الجسيمات المشحونة ، مثل الإلكترونات ، والبروتونات وجسيمات ألفا ، تتفاعل مع المادة كهرومغناطيسيا أو من خلال احد هذين النوعين من التفاعلات النووية ، وهما التفاعلات الضعيفة أو التفاعلات القوية. التفاعلات الكهرومغناطيسية التي تنطوي على التفاعل مع الإلكترونات في المواد الماصة وهو الأكثر شيوعا .أما الجسيمات غير المشحونة مثل النيوترون يمكن أن تتفاعل من خلال التفاعلات النووية. وبالتالي فان الجسيمات المشحونة يمكن اكتشافها مباشرة عن طريق تفاعلها الكهرومغناطيسي في حين أن الجسيمات غير المشحونة تتفاعل تفاعلا نوويا و تنتج الجسيمات المشحونة التي يمكن الكشف عنها.

الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية مثل جسيمات α وجسيمات βعند تفاعلها مع المادة فانها تفقد طاقتها نتيجة لهذا التفاعل وتحصل ظاهرة التأين او التهيج . ونتيجة لذلك تنبعث الكترونات باشكال مختلفة حيث تكون بشكل جسيمات بيتا الموجبة او السالبة او تفاعل التحول الداخلي او الكترونات اوجي وبالاضافة الى ذلك فان الالكترونات تتولد عند تفاعل اشعة جاما والاشعة السينية مع المادة وتقسم جميع هذه التفاعلات الى ما يلي :

أ) التأين:

عندما تتفاعل جسيمات بيتا مع المادة فان طاقتها تستثمر للتغلب على طاقة ربطها بالذرة والباقي من الطاقة يكون بشكل طاقة حركية لهذه الالكترونات (الالكترونات الثانوية) ، واذا كانت طاقة الالكترونات الثانوية كبيرة فانها قد تؤين ذرات او جزئيات اخرى من الوسط وتسمى مثل هذه الالكترونات بأشعة الدلتا.

ب) التهيج :

يحصل هذا التفاعل عندما تكون طاقة جسيمات بيتا غير كافية لحصول ظاهرة التأين .لذلك فان الالكترونات المدارية ترتفع من مستوى استقرارها الى مستوى استقرارا أعلى فتكون الذرة في حالة تهيج. وتفقد الذرة طاقة التهيج بشكل اهتزاز للجزئيات ونتيجة لذلك تنبعث اشعة تحت الحمراء، اشعة مرئية او اشعة فوق البنفسجية .

ت) التفاعل مع مجال النواة :

عندما تكون طاقة جسيمات بيتا كبيرة فان الجسيمات المشحونة تخترق الغيمة الالكترونية وتقترب من المجال الكهربائي للنواة. وذلك يؤدي الى تباطئ الجسيمات المشحونة وفقدانها للطاقة فتبعث هذه الجسيمات الطاقة المفقودة بشكل اشعاعات كهرومغناطيسية تسمى باشعاعات الكبح او الحد من السرعة (البرمشتالنك) ان طاقة اشعاعات البرمشتالنك تتراوح بين الصفر(عندما يكون تباطئ الجسيمات قليلا) الى اعظم ما يمكن من الطاقة والذي يساوي طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة وتسمى هذه التفاعلات بتفاعلات فقدان الاشعاع.

مدى الجسيمات المشحونة:

أ- مدى جسيمات α

جسيمات α هي الجسيمات التي يكون اختراقها للمادة قليلا وذلك بسبب كبر كتلتها وتسمى المسافة التي تخترقها الجسيمات المشحونة داخل المادة بالمدى. ولثقل جسيمات α فان انحرافها يكون قليل جدا عند تفاعلها مع الكترونات المادة ويكون مداها مستقيما وبسبب هذا المدى القليل فانها تمتص بعد بضع سنتمترات من الهواء. يكون مداها في الانسجة الحية بالمايكرون ويكون المدى لجسيمات α على نوعين. الاول متوسط المدى (Mean range) والثاني امتداد المدى(Extrapolation range).

يمكن تحديد مدى جسيمات ألفا بالتجربة التي تتكون من مصدر أحادي الطاقة لجسيمات ألفا التي تسقط على جهاز لكشف الجسيمات عن طريق الامتصاص. من المعروف مبدئيا أن الطيف الأحادي الطاقة سوف يعاني من التطوح straggling في الطاقة ، ولكن اتجاه جميع الجسيمات لا يتغير وتسقط الجسيمات على الكاشف ،

شـــريطة ان يكـــون سمـــك المـــادة الماصـــة أقـــل مـــن الســـماكة المطلوبـــة لوقـــف الجسيمات . وبذلك يكون المدى كما هو مبين في الخط البياني بشكل خط أفقي مستمر. وعندما يصبح سمك المادة الماصة بحيث أن بعض الجسيمات الابطأ سوف توقفت ، أن عرض منحنى طاقة التطوح والممتد بين القيمة الثابتة لعدد الجسيمات التي يتحسس بها الكاشف حتى القيمة صفرا لعدد الجسيمات ،يمثل معدل المدى . يعني معدل المدى الذي يتم عنده التحسس عن نصف القيمة الأصلية للجسيمات التي تحسس بها الكاشف يوضح الشكل (2-1) المنحني لامتصاص جسيمات α والمرسوم بين النشاط الاشعاعي والمدى لجسيمات α . يكون مدى جسيمات α في المادة مستقيما وذات قيمة ثابتة تقريبا .

يلاحظ من الشكل ان النشاط الاشعاعي يبقي ثابتا حتى يصل الى اعظم مدى، سبب هـذا الثبـات ان جسـيمات α احاديـة الطاقـة وزيـادة سمـك الوسـط (x) يقلـل طاقـة جسيمات α فقط داخل الوسط عدد جسيمات α يبقى ثابتا حتى يصل المدى الاعظم وبعدها يهبط فجائيا الى الصفر وتسمى المسافة الافقية الى نقطة الهبوط بمعدل او متوسط المدى والذي يمثل سمك الوسط الذي يمتص 50٪ من الاشعاع الساقط. يكون التطوح في المدى (Range straggling) قليلا ويساوي 1٪ تقريبيا وان مدى الامتداد نحصل عليه بالامتداد المستقيم لمنحني الامتصاص لجسيمات α الى الطاقة صفر .

المعادلة التقريبية لحساب المدى في الهواء R_a يعتمد على طاقة جسيمات α ويكتب كما يلي :

$$R_a = 0.325\ E^{3/2}$$

اما مدى جسيمات α في أي وسط فيمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$R_m = 3.2\times 10^{-4}\ (A/\rho)R_a$$

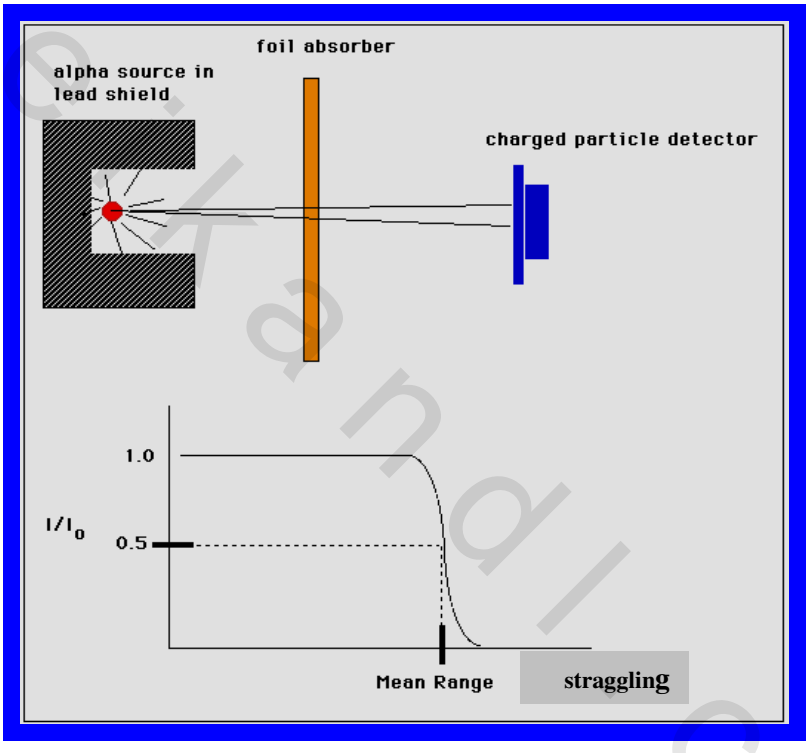
حيت ان A العدد الكتلي وρ كثافة الوسط

مدى جسيمات (β) :

مـدى جسـيمات (β) لا يكـون ثابتـا ويختلـف مـن عنصـر الى اخـر حتـى وان كانـت الكترونات جسيمات (β) لها نفس الطاقة ونفس الوسط الماص ، والسبب في ذلك هو

صغر كتلة جسيمات (β) (الالكترون).اما مدى جسيمات α فيكون ثابتا ودقيقا وبشكل مستقيم. عند تفاعل جسيمات(β) مع الكترونات المادة فانها تتشتت أي تستطار والاستطارة الحاصلة في مدى الالكترون نتيجة للتفاعلات النووية او تولد اشعة البرمشتالنك تؤدي الى انحراف الالكترون بزاوية كبيرة او ايقافه كليا .

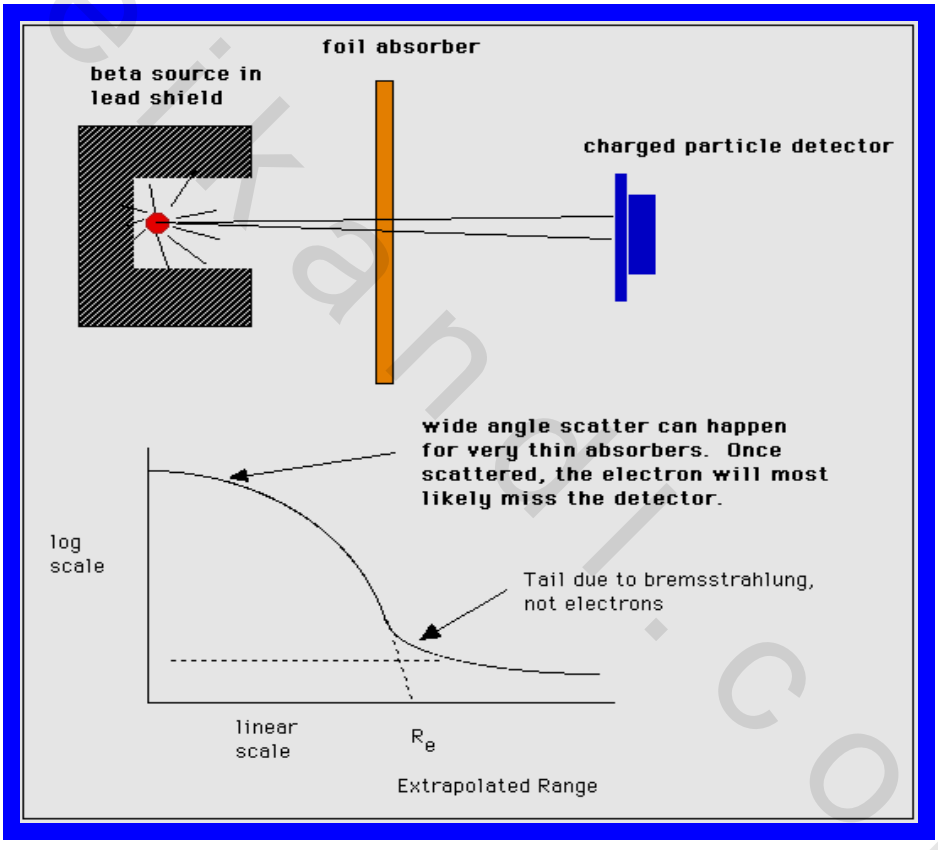
شكل (2-1) مدى الجسيمات α



يبين منحني الامتصاص لجسيمات بيتا وعلى مقياس شبه لوغارتيمي بان المدى يتناقص نتيجة زيادة سمك الوسط الماص. لانه مهما كان سمك الوسط فانه يستطيع امتصاص جزء من جسيمات β ويكون بشكل خط مستقيم ثم بعد ذلك يصبح ثابتا تقريبا عند الخلفية الاشعاعية .ان الامتداد المستقيم للمنحني وتقاطعه مع سمك الوسط الماص يسمى امتداد المدى هذا المدى اقل من المدى الاعظم قليلا كما موضح في الشكل (2-2) . سمك الوسط اللازم لامتصاص نصف كمية جسيمات بيتا يساوي تقريبا ثمن (1/8) مدى جسيمات بيتا. ويمكن أن يتم تنفيذ

التجربة لحزمة من الإلكترونات (أو باعث لجسيمات بيتا) واسقاطها على وسط ماص متغير السمك، فإن الالكترونات هي أكثر عرضة للتشتت بزاوية واسعة حتى في أرق الرقائق وعندما تصبح زاوية التشتت واسعة فان الالكترونات المتشتتة لا يتم الكشف عنها . والنتيجة هي تناقص حاد في عدد الإلكترونات التي يكشف عنها كدالة لسمك الوسط الماص:

الشكل (2- 2) مدى جسيمات (β)



2 - 2 - تفاعل اشعة جاما مع المادة:

يختلف تفاعل فوتونات اشعة جاما والاشعة السينية عن تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة حيث ان الفوتونات لا تستطيع تأين ذرات الوسط مباشرة كما هو الحال للجسيمات المشحونة ،لانها اشعة مؤينة بصورة غير مباشرة أي ان الفوتونات تقوم

بقذف احد الكترونات الذرات القريبة من الوسط او الوسط نفسه . تقوم الالكترونات او الازواج الايونية بتأين جزيئات الوسط لذلك يبنى عمل الكشف عن الاشعاعات المؤنة او التأثير البيولوجي لها على هذا الاساس . بالاضافة الى ذلك فان تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة يؤدي الى امتصاصها وايقافها كليا عندما يكون سمك الحاجز كافيا لذلك فيكون لها مدى محدد داخل المادة. ولكن الفوتونات تتناقص في الشدة بزيادة سمك الوسط الماص ولكن الشدة لاتصبح صفرا لذلك يكون لها مدى غير محدد في المادة .

يتضمن تفاعل الفوتونات مع المادة تسعة انواع من التفاعلات ولكن الشائع منها خمسة انواع اهمها .

أ- الظاهرة الكهروضوئية . (Phto electric)

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة نسبيا (ولكنها اكبر من طاقة ربط الالكترون بالذرة) أي ان طاقة الفوتونات اقل من طاقة كتلة السكون للالكترون (m_0c2) حيث ان الذرة تمتص طاقة الفوتون الساقط بأجمعها وتقذف احد الالكترونات الداخلية للذرة الى الخارج ويسمى الالكترون المقذوف بالالكترون الضوئي والذي طاقته الحركية يساوي الفرق بين طاقة الفوتون (hf) الساقط وطاقة ربط الالكترون بالذرة (Φ) شكل (2- 3)

$$K.E_e = hF - \Phi$$

او ان الالكترون المنبعث يتفاعل مع احد الكترونات الذرة ويزيحه من مكانه ويسمى الكترون اوجي فيحصل تأين مضاعف وتنبعث اشعة سينيه مميزة او الكترون اوجي

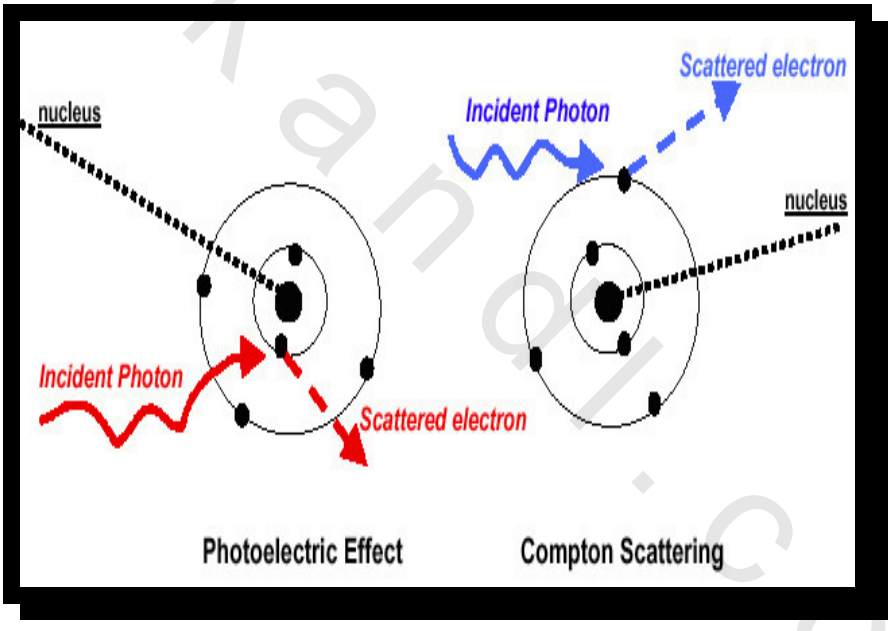
يعتمد حصول الظاهرة الكهروضوئية على العدد الذري للوسط الماص ويتناسب معه طرديا وكذلك على طاقة الفوتونات ويتناسب عكسيا حيث ان الطاقة الواطئة للاشعاع والعدد الذري العالي للوسط الماص تجعل الظاهرة الكهروضوئية اكثر احتمالا حيث ان المقطع العرضي للتفاعل يتغير تقريبا حسب ($Z^4\ \lambda^3$) حيث ان (Z) العدد الذري (λ) الطول الموجي للاشعاع الساقط .

ولهذا السبب يستخدم الرصاص او اليورانيوم المنضب كدروع واقية من الاشعة السينية واشعة جاما، لأن العدد الذري العالي للرصاص كبير تجعل الظاهرة الكهروضوئية اكثر احتمالا فتمتص الفوتونات من قبل الدروع الواقي.

ب. استطارة كومتن :

تكون طاقة الفوتونات الساقطة كبيرة نسبيا ، في هذا التفاعل تتفاعل الفوتونات مع الالكترونات الخارجية للذرة والتي تكون قوة ارتباطها ضعيفة جدا بحيث يمكن اعتبارها الكترونات حرة. يعتبر التصادم بين الفوتونات والالكترونات تصادما مرنا. فان الفوتون يفقد جزء من طاقته وينحرف عن مساره بزاوية Φ . شكل (2- 4)

شكل (2- 3) الظاهرة الكهروضوئية واستطارة كومبتن



إما الإلكترون فانه يكتسب جزء من طاقه الفوتونات الساقطة ويزاح عن الذرة مكونا الإلكترون المرتد .

من قانون حفظ الطاقة: $E_i + E_e = E'_e + E_f$

$$h\upsilon_i + m_e c^2 = h\upsilon_f + \sqrt{p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4} \qquad \text{-------1}$$

بتطبيق قانون حفظ الزخم

$$\vec{p_i} = \vec{p_f} + \vec{p_e}$$

Pe= Pi - Pf

وبتربيع المعادلة اعلاه باستخدام الضرب العددي نحصل

$$p_e^2 = (\vec{p_i} - \vec{p_f}) \cdot (\vec{p_i} - \vec{p_f}) = p_i^2 + p_f^2 - 2p_i p_f \cos\theta$$

نضرب طرفي المعادلة بالمقدارc ونعوض عن المقدار pc بالمقدارυh

$$(p_e c)^2 = (h\upsilon_i)^2 + (h\upsilon_f)^2 - 2h^2\upsilon_i\upsilon_f \cos\theta$$ ------2

بتربيع طرفي المعادلة –١ نحصل على

$$(p_e c)^2 = (h\upsilon_i)^2 + (h\upsilon_f)^2 - 2h^2\upsilon_i\upsilon_f + 2m_e c^2(h\upsilon_i - h\upsilon_f)$$ -------3

من تساوي المعادلتين ٢ و ٣ نحصل

$$-2h^2\upsilon_i\upsilon_f \cos\theta = -2h^2\upsilon_i\upsilon_f + 2m_e c^2(h\upsilon_i - h\upsilon_f)$$

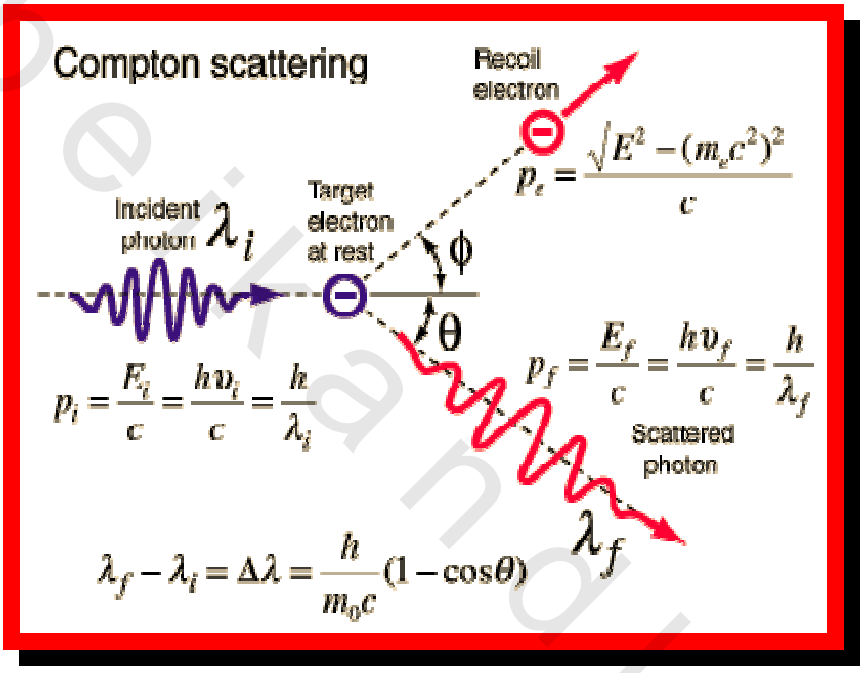
بالترتيب نحصل على

$$\frac{1}{h\upsilon_f} - \frac{1}{h\upsilon_i} = \frac{1}{m_e c^2}(1 - \cos\theta)$$

وفي النهاية نحصل على معادلة كومتن

$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

شكل (2- 4). الاشتقاق الرياضي لاستطارة كومتن



ت- ظاهرة توليد الازواج:

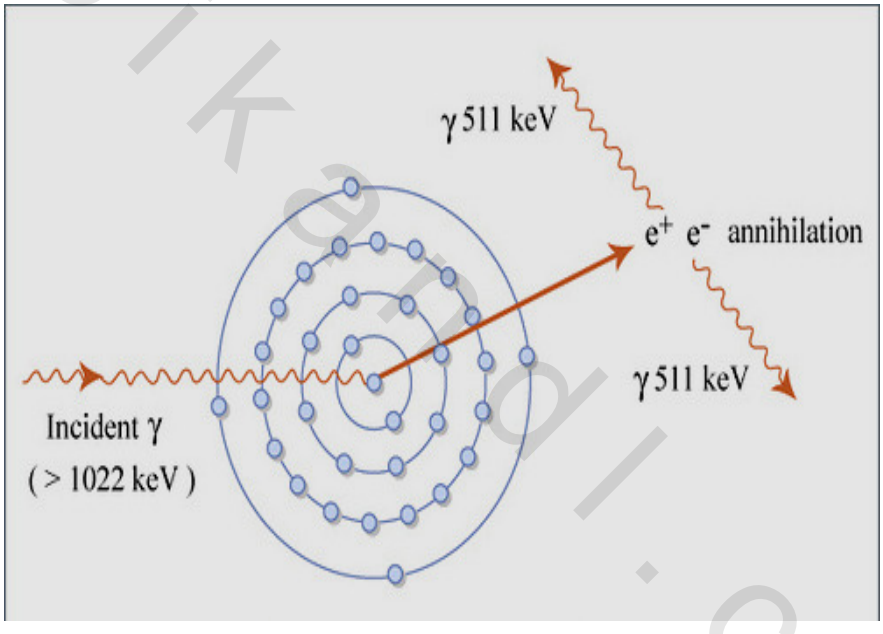
تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات كبيرة واكثر من (1.02 MeV) وفي هذه الحالة تمر الفوتونات قرب النواة .يؤثر المجال الكهربائي القوي للنواة على الفوتونات ويختفي الفوتون ويتوليد زوج الكترون وبوزترون وكل منهما له طاقة مقدارها(0.511MeV) شكل (2- 5). لذلك فتكون اقل طاقة لازمة لحصول هذه الظاهرة هي 1.022MeV يفقد الالكترون طاقتة بالتأين او التهيج. اما البوزوترون فانة يفقد جميع طاقته ويتحد مع احد الالكترونات مولدا زوجين من الفوتونات ذات الطاقة 0.511 MeV باتجاهين متعاكسين وتسمى هذه الظاهرة بالفناء لذلك

فان طاقة زوجي الفوتونات والبالغة 1.022MeV وحدها التي تترسب في موقع التفاعل .

ان المقطع العرضي للتفاعل (احتمالية التفاعل) لتوليد زوج الكترون . بوزوترون تتناسب بشكل تقريبي مع $Z^2 + Z$ لذلك فهي مهمة للوسط الماص ذات العدد الذري الكبيرنسبيا ويزداد كذلك المقطع العرضي للتفاعل بشكل قليل بزيادة الطاقة.

ويمكن تلخيص ظاهرة توليد الازواج

شكل (2- 5) ظاهرة توليد الازواج



1- الفوتون الساقط يختفي ويتحول الى زوج من إلكترون- بوزترون.

2 - هذه العملية تتم في مجال كولوم للنواة .

3 - عمر النصف للبوزوترون قصير جدا لذلك يختفي مخلفا ٢ فوتون كل منهما بطاقة 511 keV.

4 - يعبر عن طاقة الإلكترون بالمعادلة. $T = h\upsilon - 2mc2 - 1.022\ MeV$

في الوسط الماص ذات العدد الذري الكبير يزداد المقطع العرضي للتفاعل بشكل قليل بزيادة الطاقة.

obeikandi.com

ث - تفاعل الاستطارة المحورة:

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة جدا واقل من طاقة ربط الالكترون بالذرة ويحصل التفاعل بين الفوتون والذرة بأجمعها ولكبر كتلة الذرة فان الطاقة المتصة تكون قليلة جدا لذلك لاتحصل عملية تهيج او تاين وانما ينحرف (يتشتت) الفوتون بدون ان تتغير طاقته كثير، تسمى هذة العملية تشتت رايلي **Rayleigh scattering** وتكون هذه الظاهرة اقل احتمالا من حدوث الظاهرة الكهروضوئية تكون هذه الظاهرة مهمة في بعض التطبيقات للضوء المرئي وهي مسؤلة عن زرقة السماء او في الاشعة السينية ذات الطاقة الواطئة وخاصة في قياسات حيود الاشعة السينية.

هـ- تفاعل الانحلال الفوتوني:

تحصل هذه الظاهرة في الطاقات العالية للفوتونات(اشعة جاما ذات الطاقة العالية) حيث تتفاعل هذه الفونونات مع النواة التي تاسرها وتبعث النيوترونات من النواة، وتتراوح الطاقة اللازمة لإحداث هذا التفاعل بين 2 - 8 MeV ، ما عدا الباريوم الذي تحصل فيه ظاهرة مهمة جدا لتوليد النظائر المشعة في المجالات الطبية.

2 - 3 - توهين الفوتونات : attenuation

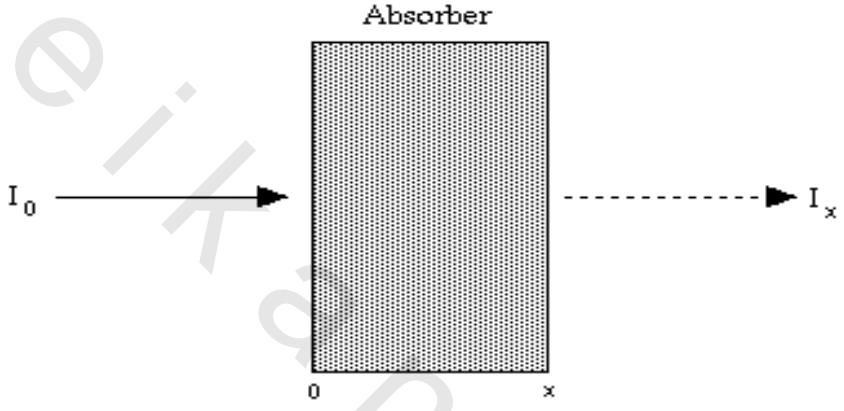
عند مرور الفوتونات خلال أي وسط ماص يحصل تفاعل بين الفوتونات والالكترونات او ذرات ذلك الوسط يعتمد هذا التفاعل على طاقة الفوتون ونوع وسمك الوسط الماص. حيث ان الوسط الاكثر سمكا هو الاكثر احتمالا للتفاعل فعند سقوط فوتون شدته ١ (فوتون / سم^2) على سطح ماص سمكه x فإن التفاعل يمتص قسم من الفوتونات ويوهن القسم الاخر .

$$I_x < I_0$$

$$\frac{\Delta I}{I} \propto \Delta x$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I}{I} = -\mu \Delta x$$

$$\therefore \frac{dI}{I} = -\mu \, dx$$



$$\therefore \int_{I_0}^{I_x} \frac{dI}{I} = -\mu \int_0^x dx$$

$$\therefore \ln \frac{I_x}{I_0} = -\mu \, x$$

$$\therefore \frac{I_x}{I_0} = exp(-\mu x)$$

$$\therefore I_x = I_0 \, exp(-\mu x)$$

فاذا كانت حزمة الفوتونات الساقطة حزمة ضعيفة ورسمت العلاقة على مقياس شبه لوغارتيمي بين شدة الفوتونات النافذة (I) وسمك الوسط نحصل على خط

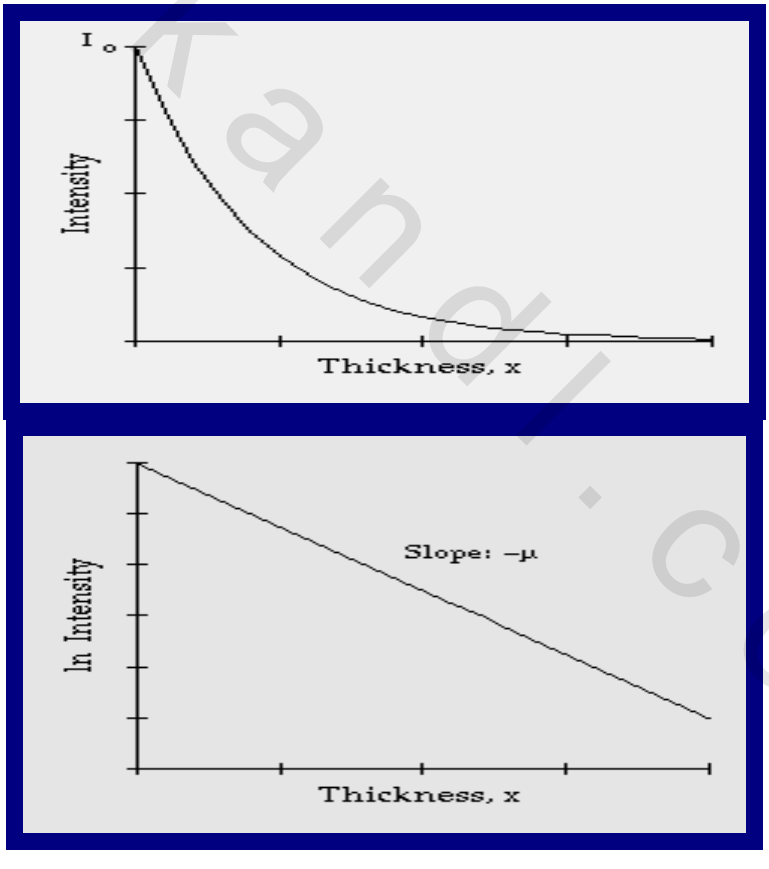
obeikandl.com

مستقيم تتناقص فيه الشدة مع سمك الوسط شكل (2 – 6) ومعادلة على ذلك الخط هي :

$$(I=Io\ e^{-\mu x})$$

والاشارة السالبة تدل على ان شدة الاشعاع النافذ تقل بزيادة سمك الوسط (ميل الخط المستقيم) ويسمى المقدار(μ) معامل التوهين الخطي للوسط وتقاس بمقلوب وحدات الطول (cm^{-1}) ولكن هذه الوحدة كبيرة لذلك استبدلت بوحدة اخرى تسمى البارن = (10^{-24}) سم .

شكل (2 – 6) العلاقة الخطية والأسية لسمك الوسط كدالة لشدة الإشعاع



openkandi.com

وقد وجد بأن (μ) يزداد بشكل خطي مع كثافة الوسط لذلك استخدم ما يسمى بمعامل التوهين الكتلي

(μ /p) والذي يفضل استخدامه لانه يعتمد على الكثافة ويعطي

حسب المعادلة ($I=Io\ e^{-\mu/px}$) .

وتكون وحدات (μ /p) سم^2 / غم وهذا المعامل يعتمد على العدد الذري للوسط وعلى طاقة الفوتون الساقط. ان معامل التوهين الكتلي لمزيج من العناصر يمكن الحصول عليه من قيم التوهين الخطي لتلك العناصر وحسب المعادلة التالية : μ_3

$$\mu_{total} = a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + a_3$$

حيث ان (μ_1 , μ_2 , μ_3) هو معامل التوهين الكتلي للعناصر2،1

و (a) هو جزء ذلك العنصر نسبة الى المزيج الكلي فمثلا معامل التوهين للماء يعطي بالشكل التالي (μ_{H2O}) = ($1/9\ \mu_H + 8/9\ \mu_o$)

وهنك مصطلح يسمى نصف السمك وهو سمك الوسط الماص الذي يؤدي إلى تخفيض شدة الإشعاع الأصلي إلى النصف أي أن:

$$I_o \rightarrow \frac{I_o}{2} \quad \text{when} \quad x = x_{\frac{1}{2}}$$

$$I_x = I_0\ exp(-\mu x)$$

$$\therefore \frac{I_o}{2} = I_0\ exp(-\mu\ x_{\frac{1}{2}})$$

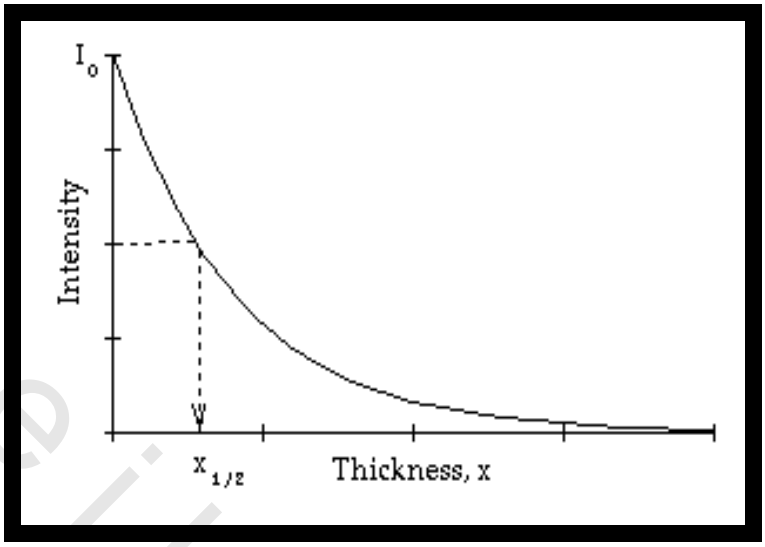
$$\therefore \frac{1}{2} = exp(-\mu\ x_{\frac{1}{2}})$$

$$\therefore -ln2 = -\mu\ x_{\frac{1}{2}}$$

[ln 2 = 0.693]

$$\therefore x_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\mu} \quad \text{and} \quad \mu = \frac{0.693}{x_{\frac{1}{2}}}$$

openkanal.com



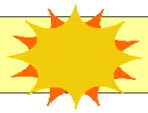
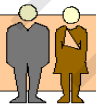
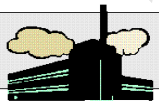
مصادر الاشعاع الطبيعي:Natural sources

الاشعاع الذي يحيط بيئة الانسان بشكل طبيعي ومستمر يسمى بالخلفية الاشعاعية لأن هذا الاشعاع يشمل سكان العالم كافة وان التعرض يحدث بمعدل ثابت نسبيا وعلى مدى فترات زمنية طويلة.والمصادر الطبيعية للاشعاع هي الاشعة الكونية والمواد المشعة الطبيعية في باطن الارض او المواد المشعة الطبيعية شكل (2 – 7).

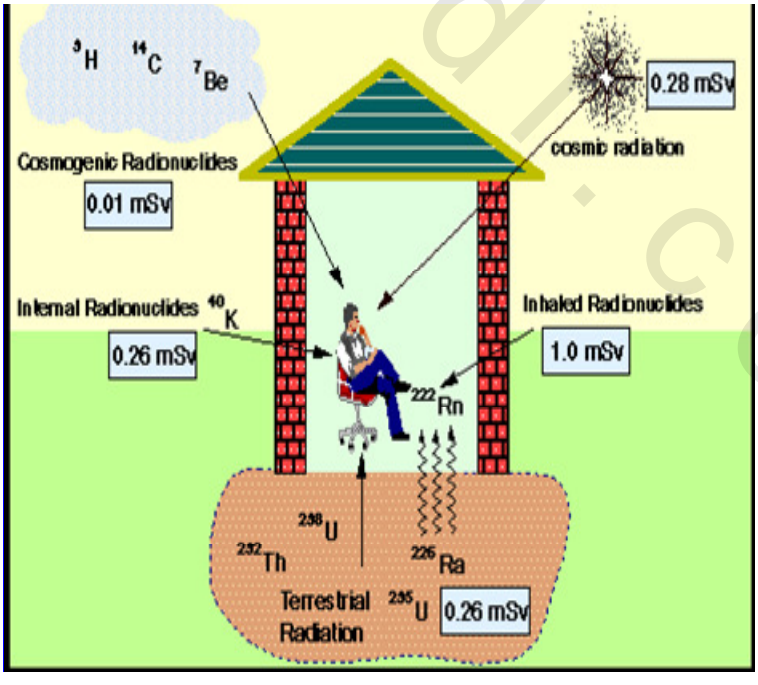
الاشعاع الطبيعي ينتقل من الكون الخارجي والتربة الى الانسان وتعتبر الخلفية الاشعاعية كمستوى مرجعي للمقارنة بين مصادر الاشعاع المؤين التي يتعرض لها الانسان من المصادر الطبيعية شكل (2 – 8).

obeikandl.com

شكل (2 – 7) العناصر المشعة طبيعيا

	Source	mrem/year
	Cosmic rays	28
	The earth	26
	Radon	200
	The human body	25
	Building materials	4

شكل (2 – 8) المساهمة السنوية للجرعة المؤثرة الناتجة عن المصادر المشعة طبيعيا



obeikandl.com

ولا يعرف لحد الآن تأثير الاشعاع الناتج عن المصادر الطبيعية اي تأثير الخلفية الاشعاعية فقسم من الباحثين يعتبر ان الخلفية الاشعاعية ذات فائدة كبيرة للانسان حيث ان (2- 10٪) من الطفرات الوراثية المفيدة والتي سببت تطورا للانسان ناتجة عن الخلفية الاشعاعية.

والدليل على ذلك ان الخلفية الاشعاعية في بعض مناطق العالم كبيرة مثل كيرالا في الهند ومع ذلك فإن اكثر المعمرين في العالم في هذه المنطقة. وفي الارجنتين حيث ان الخلفية الاشعاعية لبعض المناطق كبيرة جدا وبالرغم من ذلك تقام في هذه المناطق المصحات لامراض كثيرة.

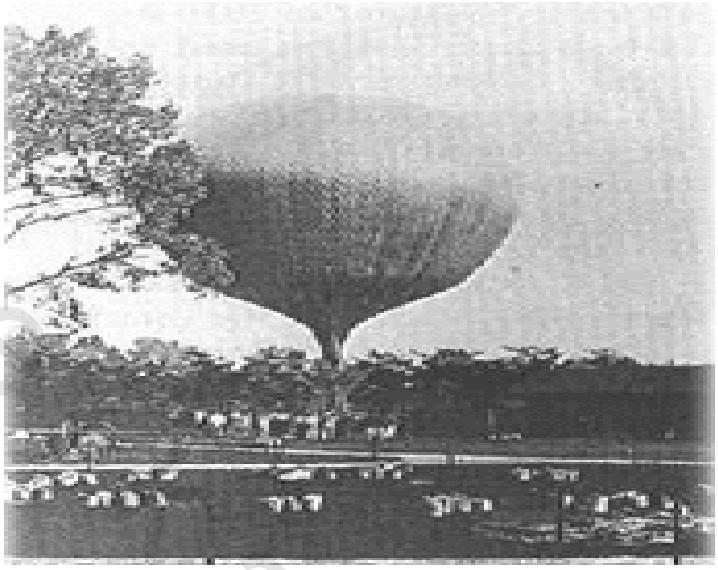
وقسم آخر من الباحثين يعتبر بأن سبب زيادة السرطان في العالم ناتج من الخلفية الاشعاعية ولا توجد ادلة مؤكدة على صحة رأي أي من الفريقين.

من اهم المصادر المشعة الطبيعية:

2- 4- الاشعة الكونية (cosmic ray):

جاء اكتشاف الأشعة الكونية في مطلع القرن العشرين ففي عام 1912 م لاحظ الفيزيائيّ النمساوي هس Victor Hess إثر دراسة سبب تفرغ كشّاف كهربائي electroscope مشحون، فقد وجد أن انفراج ورقتي الذهب في الكشاف لا يلبث أن يزول دليلاً على ضياع شحنته الكهربائية والتي تنشا عن تأين الهواء الملامس لقرص الكشاف وتسرب شحنتها الكهربائية الساكنة على الرغم من إحاطة الكشف بدروع سميكة من الرصاص . وقد لوحظ في الأيام الأولى لقياس النشاط الإشعاعي أن عدادات كايكر تتحسس بالإشعاع بالرغم من عدم وجود مصدر مشع قريبا منها وقد تم تفسير ذلك بوجود عناصر مشعة في باطن الأرض . لكن تجارب المناطيد التي أجريت عام 1912 شكل (2 – 9) أن شدة الإشعاع تزداد كلما ارتفعنا عن سطح الأرض.

شكل (2 – 9) تجارب هس بالمناطيد



مما دعا العلماء عام 1926 إلى تسمية هذا الإشعاع بالإشعاع الكوني، كما تأكد تجريبياً أن بالإمكان تقليل معدَّل تفريغ الكشاف الكهربائي من شحنته إذا وضع الكشاف في وادي أو في أعماق البحر، وقد أمكن التفريق بين نوعين من الأشعة الكونية التي تصل سطح الأرض، ولقد حصل هس على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1936 م لاكتشافه الأشعة الكونية. اعتقد العلماء في البداية بان الأشعة الكونية هي أشعة جاما وفي عام 1929 أجريت تجارب حول امتصاص الأشعة الكونية بقطع سميكة من الذهب ، وتأثرها بالمجالات المغنطيسية بخلاف أشعة جاما وقد أوضحت هذه التجارب أن الأشعة الكونية هي جسيمات مشحونة.

مما دعا العلماء عام 1926 إلى تسمية هذا الإشعاع بالإشعاع الكوني، كما تأكد تجريبياً أن بالإمكان تقليل معدَّل تفريغ الكشاف الكهربائي من شحنته إذا وضع الكشاف في وادي أو في أعماق البحر، وقد أمكن التفريق بين نوعين من الأشعة الكونية التي تصل سطح الأرض، ولقد حصل هس على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1936 م لاكتشافه الأشعة الكونية. اعتقد العلماء في البداية بأن الأشعة الكونية هي أشعة جاما وفي عام 1929 أجريت تجارب حول امتصاص الأشعة الكونية بقطع سميكة من

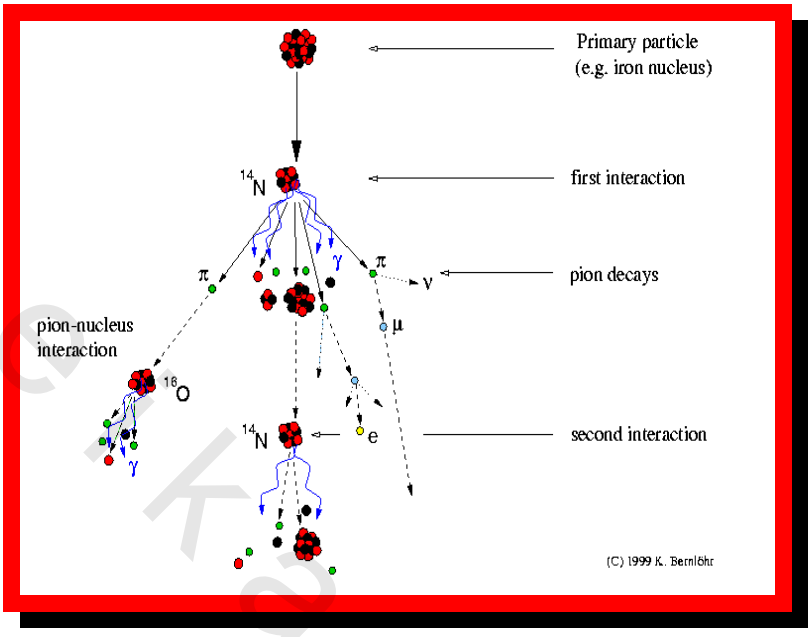
الذهب، وتأثرها بالمجالات المغنطيسية بخلاف أشعة جاما وقد أوضحت هذه التجارب أن الأشعة الكونية هي جسيمات مشحونة.

مما دعا العلماء عام 1926 إلى تسمية هذا الإشعاع بالإشعاع الكوني، كما تأكد تجريبياً أن بالإمكان تقليل معدَّل تفريغ الكشاف الكهربائي من شحنته إذا وضع الكشاف في وادي أو في أعماق البحر، وقد أمكن التفريق بين نوعين من الأشعة الكونية التي تصل سطح الأرض، ولقد حصل هس على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1936 م لاكتشافه الأشعة الكونية. اعتقد العلماء في البداية بان الأشعة الكونية هي أشعة جاما وفي عام 1929 أجريت تجارب حول امتصاص الأشعة الكونية بقطع سميكة من الذهب ، وتأثرها بالمجالات المغنطيسية بخلاف أشعة جاما وقد أوضحت هذه التجارب أن الأشعة الكونية هي جسيمات مشحونة.

مما دعا العلماء عام 1926 إلى تسمية هذا الإشعاع بالإشعاع الكوني، كما تأكد تجريبياً أن بالإمكان تقليل معدَّل تفريغ الكشاف الكهربائي من شحنته إذا وضع الكشاف في وادي أو في أعماق البحر، وقد أمكن التفريق بين نوعين من الأشعة الكونية التي تصل سطح الأرض، ولقد حصل هس على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1936 م لاكتشافه الأشعة الكونية. اعتقد العلماء في البداية بان الأشعة الكونية هي أشعة جاما وفي عام 1929 أجريت تجارب حول امتصاص الأشعة الكونية بقطع سميكة من الذهب، وتأثرها بالمجالات المغنطيسية بخلاف أشعة جاما وقد أوضحت هذه التجارب أن الأشعة الكونية هي جسيمات مشحونة.

openkandil.com

شكل (2- 10) تولد سيل الأشعة الكونية بطبقات العليا من جو الأرض



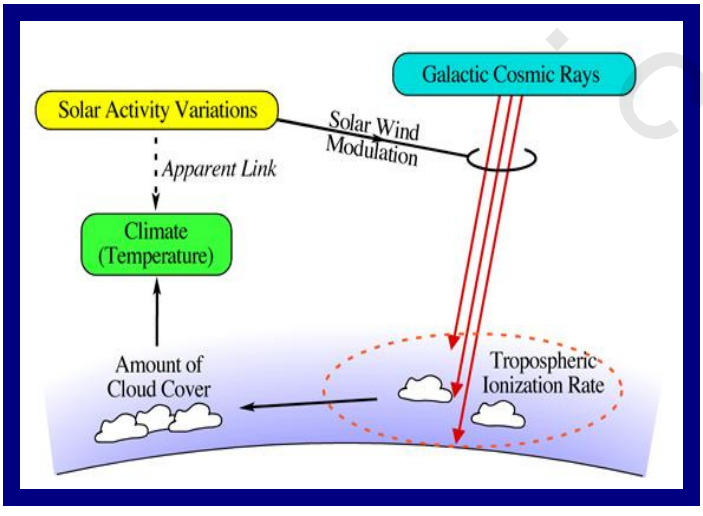
ولان الغيوم التي على علو منخفض لديها تأثير لتبريد الجو ، أي ان زيادة النشاط الشمسي يعني مناخ أكثر دفئا. في أثناء النشاط الشمسي الأعظم (مرة أو مرتين كل 11 سنة)، فإن المجال المغناطيسي بين الكواكب والمتولد بواسطة الشمس، يقوم بإيجاد نوعاً من الوقاية للمنظومة الداخلية الشمسية، مؤدياً ذلك إلى إنقاص الكثافة الكلية للإشعاع الكوني القادم من المجرات. مع ملاحظة أن الجسيمات ذات الطاقة العالية لا يتم توهينها بصورة ملموسة، في حين يتم إنقاص الدفق ذات الطاقة المنخفضة وبصورة ملموسة. وعليه فإن معدل الجرعة الناجمة عن إجمالي الإشعاع الكوني المنحدر من المجرات هو بحدود 2.5 أعلى في أثناء النشاط الشمسي الأصغر بالمقارنة مع النشاط الشمسي الأعظم. والأشعة الكونية موجودة باستمرار و تصيب كل الأحياء على الأرض ، ولكنها قليلة ولا تهدد الحياة على الأرض مساهمة في الخلقية الإشعاعية . وتقل هذه الأشعة عند اختراقها لطبقات الأرض حيث تمتصها طبقات الأرض المختلفة ، حتى تختفي عند أعماق تحت الأرض تقدر بنحو كيلو متر واحد . يقوم المجال حقل الجيومغناطيسي بحرف العديد من مكونات الإشعاع الكوني القادم من المجرات ذات

الطاقات المنخفضة، مؤدياً ذلك إلى الوقاية من هذا الإشعاع معتمدا على خط العرض. وبالمقارنة مع المدارات ذات درجات الميل المنخفضة، تتعرض المدارات ذات درجات الميل العالية إلى مقادير مرتفعة من الإشعاع الكوني القادم من المجرات.

2- 5 - الحوادث الجسيمة الشمسية الطاقية (Energetic solar particle events):

يُقصد بالحوادث الجسيمية الشمسية الطاقية دخول للإلكترونات والبروتونات وجسيمات ألفا وجسيمات ثقيلة أخرى إلى الفضاء بين الكواكب في أثناء توهج الشمس. ففي أثناء نشاط الشمس الأعظم، يزداد تواتر وشدة الوهج الشمس. معظم توهج الشمس لا يمثل خطراً ملموساً، ويعزى ذلك إما لأنها صغيرة جداً وبالتالي غير قادرة على حقن أعداد ملموسة من الجسيمات الشمسية الطاقية، أو لأنها تظهر في مواضع شمسية غير مؤاتية لنقل هذه الجسيمات إلى الأرض عبر خطوط الحقل المغناطيسي بين الكواكب. إن التوهجات أو السلاسل المتعاقبة السريعة من التوهجات العملاقة لها صلة مباشرة في توليد الحوادث الجسيمية الشمسية ذات الطاقة العالية جداً. هذه الحوادث البروتونية الشمسية تظهر مرة واحدة أو مرتين في كل دورة للشمس. في أثناء الـ 22 دورة الشمس ، ظهر أربع توهجات هائلة الضخامة ولمدة أربعة أشهر.

شكل (2- 11) تاثير الاشعة الكونية على المناخ



2 - 6 العناصر المشعة طبيعيا:

تنتشر العناصر المشعة طبيعيا انتشارا واسعا في القشرة الارضية (Earth) مسببة جرعة اشعاعية قد تكون اقل او اكثر من الجرعة الاشعاعية الناتجة من الاشعة الكونية وهذه الاشعة على نوعين:

1- العناصر المشعة ذات الاصل الكوني:Cosmogenic Nuclides

وهي العناصر التي تتولد في الجو نتيجة للتفاعل النووي بين مركبات الاشعة الكونية ونوى وذرات العناصر المستقرة مثل الكربون 14 (عمر النصف 557 سنة) والذي يتكون من عملية تفاعل نيتروجين الهواء الجوي من نيوترونات الاشعة الكونية ويؤثر C^{14} بجرعة اشعاعية خارجية ضئيلة جدا ولكن جرعته الاكبر تكون عند دخوله جسم الانسان:

$$_7N^{14} + n^{o} \rightarrow {}_1H^1 + {}_6C^{14}$$

وبهذا ينتشر الكربون- 14 المشع المتكون في الغلاف الجوي حتى يصل إلى سطح الأرض بفعل الأمطار فيدخل في تركيب المواد الحية الموجودة على سطح الأرض. وتقوم الكائنات الحيَّة، باستمرار بإدماج الكربون بما في ذلك الكربون المشع في خلاياها. ونظرًا لأن الكربون الإشعاعي يتحلل بمعدل ثابت ويمكن قياس عمر المواد من خلال الكمية المتبقية من الكربون المشع في المادة.

اما العنصر المشع الآخر فهو التريتيوم هو نظير مشع للهيدروجين ونصف عمره 1.2×10^{5} سنة يتولد نتيجة لتفاعل بروتونات الاشعة الكونية من نيتروجين الهواء في الطبقات العليا فوق المعادلة:

$$_7N^{14} + {}_1P^1 \rightarrow {}_1H^3 + {}_7N^{12}$$

وقد ازدادت نسبة التريتيوم في الطبيعة خلال تجارب تفجيرات الاسلحة النووية فوق سطح الارض. جدول (2- 1).

جدول (2- 1) - العناصر المشعة ذات الاصل الكوني

النويدات	الرمز	عمر النصف	كيف تتولد	النشاط الاشعاعي
الكربون – 14	^{14}C	5730سنة	تفاعل الاشعة الكونية مع النيتروجين $^{14}N(n,p)^{14}C$	6 pCi/g (0.22 Bq/g) في المواد العضوية
التريتيوم	^{3}H	12.3 سنة	تفاعل الاشعة الكونية مع النيتروجين والاوكسجين, او ينبعث الاشعة الكوبية من, $^{6}Li(n, alpha)^{3}H$	0.032 pCi/kg (1.2×10^{-3} Bq/kg)
البريليوم	^{7}Be	53.28يوم	تفاعل الاشعة الكوبية مع النيتروجين والاوكسجين	0.27 pCi/kg (0.01 Bq/kg)

2- العناصر المشعة ذات الاصل البدائي:Primordial nuclides

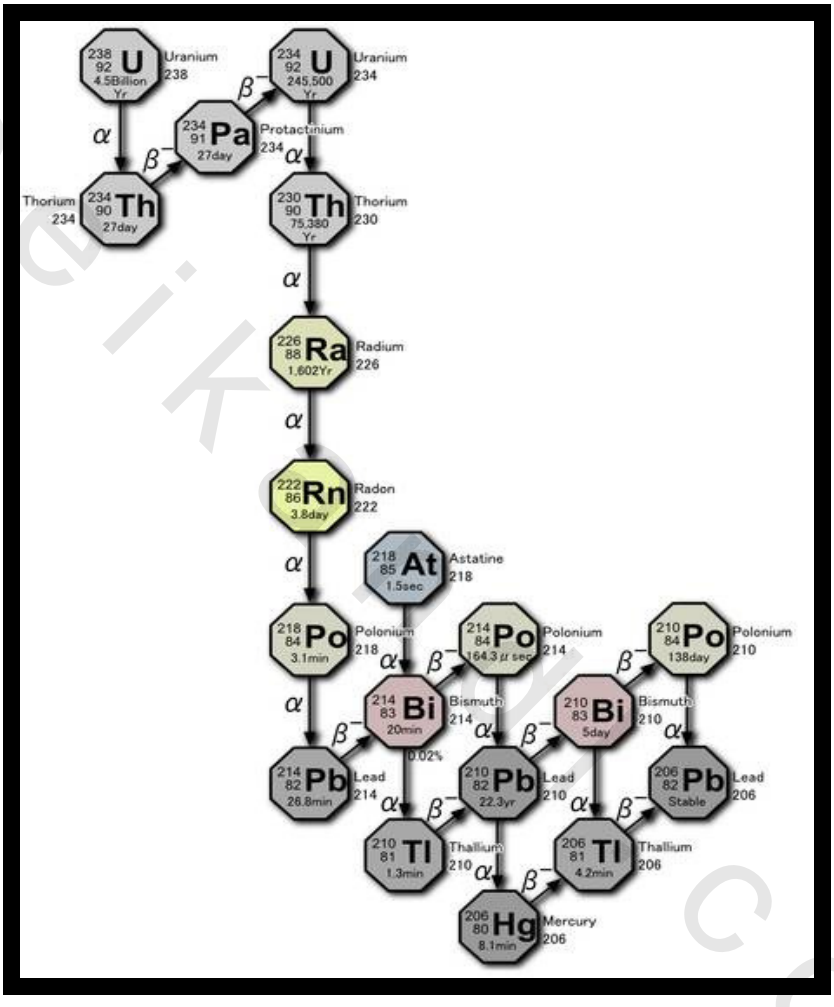
تنتشر المواد المشعة الطبيعية انتشارا واسعا في القشرة الارضية ونظرا لنصف عمرها الطويل فانها تكونت مع تكون الارض وهذه المواد تتكون من اربعة سلاسل هي:

أ- سلسلة اليورانيوم- 238:

يتواجد اليورانيوم- 238 ونواتج انحلاله في الطبيعة بشكل مختلف من مكان لآخر وعمر النصف له يساوي 4.5×10^{9} سنة ويتحلل بشكل طبيعي حتى يصل الى عنصر الرصاص المستقر. ويرمز لهذه السلسلة بالرمز (4n+2) حيث ان n يتراوح بين 51- 59 شكل (2 – 12 أ) . يتواجد اليورانيوم في الطبيعة بتراكيب كيميائية مختلفة وفي مواقع جيولوجية متنوعة، ويتواجد الثوريوم في رسوبيات المونازيت. تذوب بعض هذه المركبات الكيميائية في الظروف الطبيعية بالماء فتنتقل مع الماء إلى الأنهار لتصب في البحار والمحيطات مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الإشعاع على طول مجرى النهر

وعند المصب ، وذلك بسبب تفاعل الأشعة الناتجة عن التفكك مع نوى ذرات النظائر المستقرة التي تصادفها .

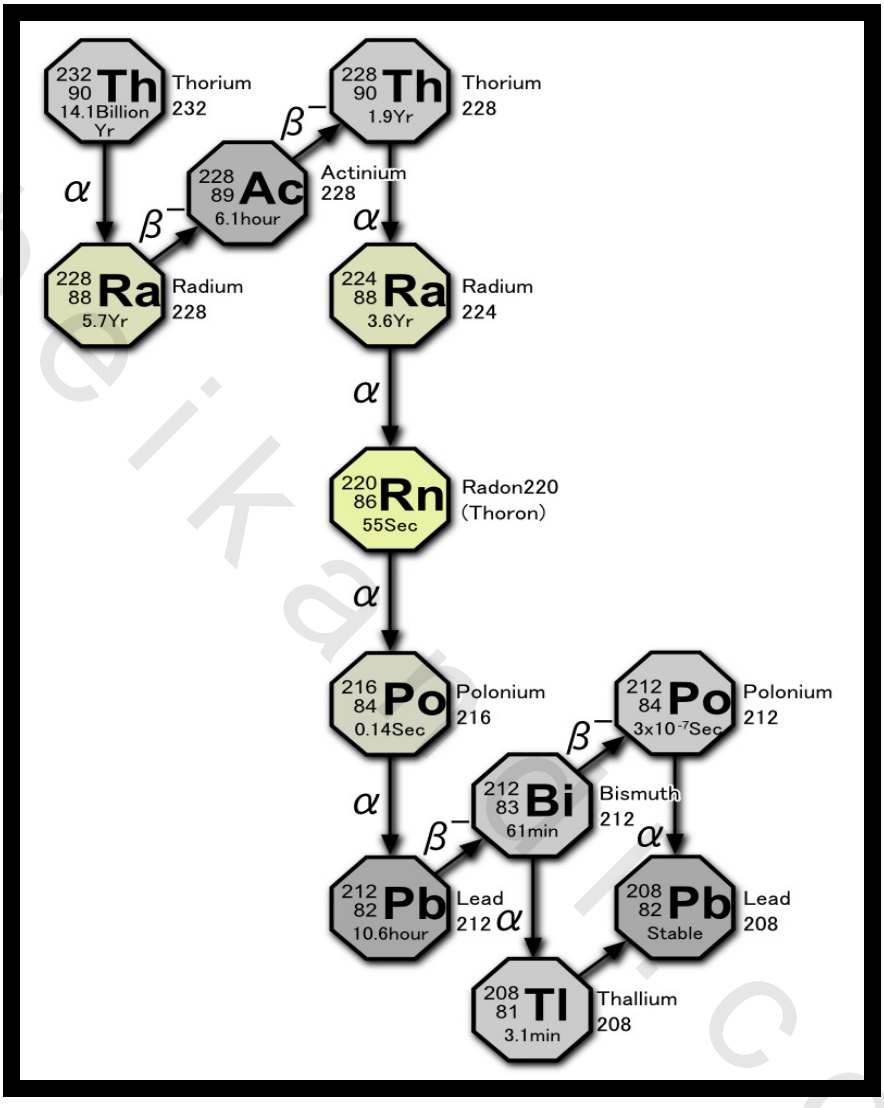
شكل (2 – 12 أ) سلسلة اليورانيوم



ب- سلسلة الثوريوم 232:

و الثوريوم اكثر انتشارا من اليورانيوم في الطبيعة وعند انحلال هذه السلسلة فانه بعد إشعاع ست من جسيمات ألفا وأربعة من جسيمات بيتا يتكون الرصاص المستقر ويرمز لها بالرمز 4n حيث ان n عدد صحيح يتراوح بين 52- 58.شكل(2 – 12 ب)

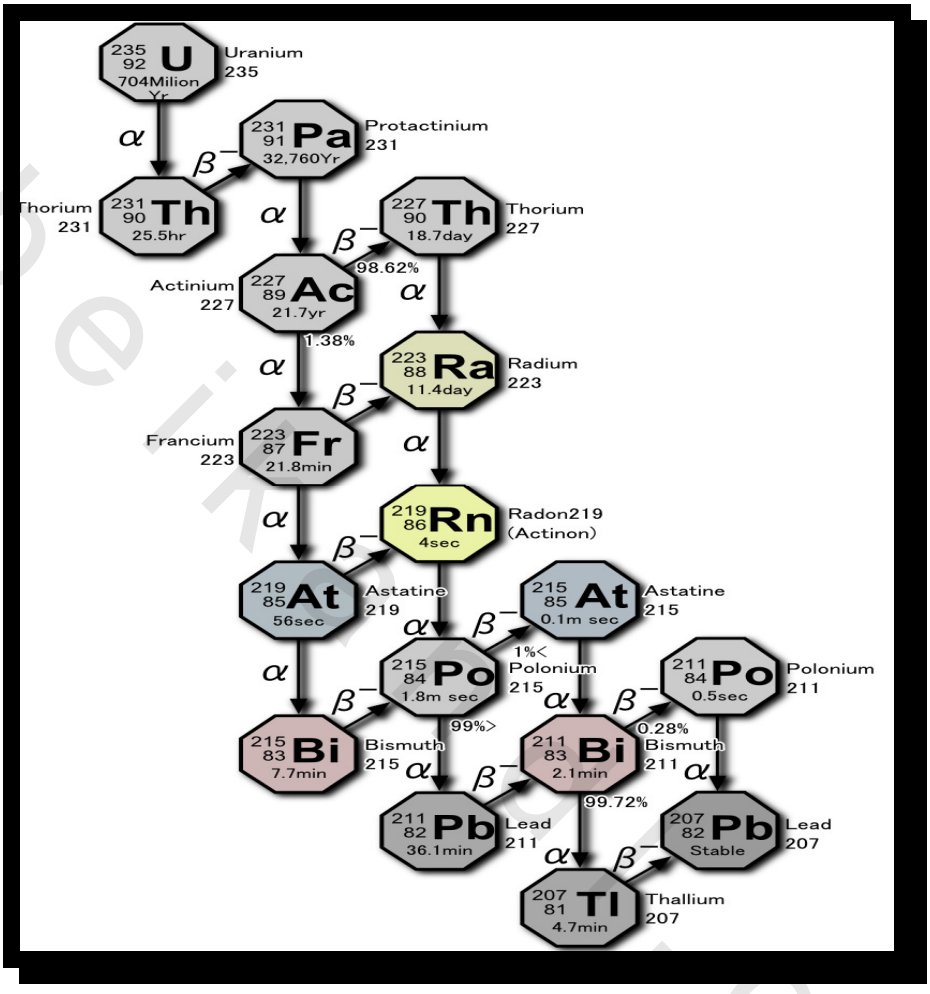
شكل (2 – 12 ب) سلسلة الثوريوم



ج- سلسلة الاكتينيوم:

تبدأ هذه السلسلة باليورانيوم 235 (عمر النصف 7.1 .×10^8 سنة) وينتهي بالرصاص المستقر ويرمز لهذه السلسلة بالرمز(4n+3) وتمثل n عدد صحيح بين 51- 58 . شكل (2 – 12 ت)

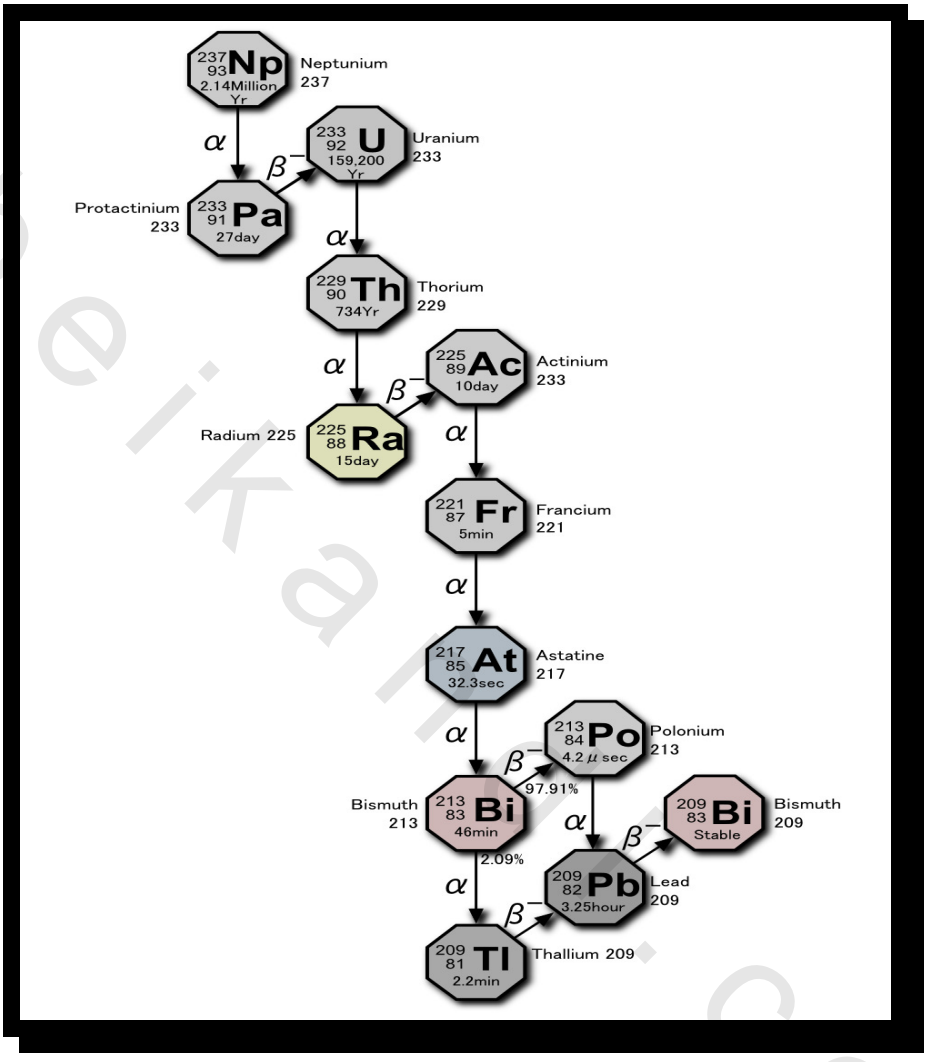
شكل (2 – 12 ت) سلسلة ألاكتينيوم



د- سلسلة النبتونيوم:

وتبدأ هذه السلسلة بالنيتونيوم (عمر النصف 2.2×10^{6} سنة) وتنتهي بالرصاص ونظرا لأن نصف العمر لها قليل مقارنة بعمر الأرض، لذلك فان ما يتبقى من سلسلة النبتونيوم كمية لا يمكن قياسها ويرمز لها بالرمز(4n+1) حيث تتراوح قيمة n بين 52 – 60 شكل (2 – 12 ث) . ولم يكن معروفاً من عناصر هذه المجموعة سوى سبعاً موجود بكميات ضئيلة جداً في القشرة الأرضية وكذلك الناتج النهائي البزموث (وزنه الذري 209) .يوضح الجدول (2 - 2) المصادر المشعة طبيعيا .

شكل (2 – 12 ث) سلسلة النبتونيوم



ومن اهم نواتج اضمحلال سلسلة اليورانيوم 238 هو الراديوم 226 وقد لا يكون في حالة اتزان مع اليورانيوم 238 في الطبقة السطحية من القشرة الارضية والذي ينحل الى عنصر الرادون 222 .

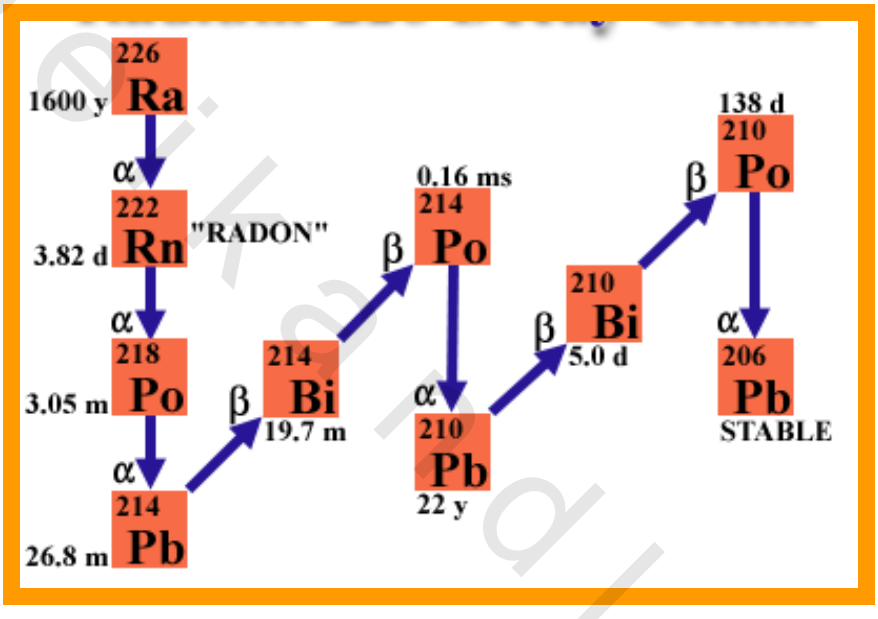
جدول (2 - 2) المصادر المشعة طبيعيا

النويدات	الرمز	عمر النصف	النشاط الإشعاعي \أو نسبتها في الطبيعة
Uranium 235	^{235}U	7.04×10^8 yr	0.72% في اليورانيوم الطبيعي
Uranium 238	^{238}U	4.47×10^9 yr	في اليورانيوم الطبيعي 99.2745% في اليورانيوم الكلي في الصخور و 0.5 to 4.7 ppm الاعتيادية
Thorium 232	^{232}Th	1.41×10^{10} yr	1.6 to 20 في اليورانيوم في الصخور الاعتيادية وفي 10.7 ppm ppm القشرة الارضية
Radium 226	^{226}Ra	1.60×10^3 yr	0.42 pCi/g في حجر الكلس (16 Bq/kg) 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) و في الحجر البركاني
Radon 222	^{222}Rn	3.82 days	معدل التركيز السنوي في الهواء 16 pCi/L في امريكا يتراوح بين 0.75 الى (0.6 Bq/m^3) pCi/L (28 Bq/m^3)
Potassium 40	^{40}K	1.28×10^9 yr	1-30 pCi/g - في التربة (0.037-1.1 Bq/g)

والذي ينبعث من الصخور او التربة التي تحتوي على اليورانيوم ويدخل الى جسم الانسان عن طريق الاستنشاق حيث يصل الى الرئتين ويتحلل فيها ليستقر في القصبات الهوائية معرضا الرئتين الى جرع ناتجة من جسيمات الفا المنبعثة عنه.

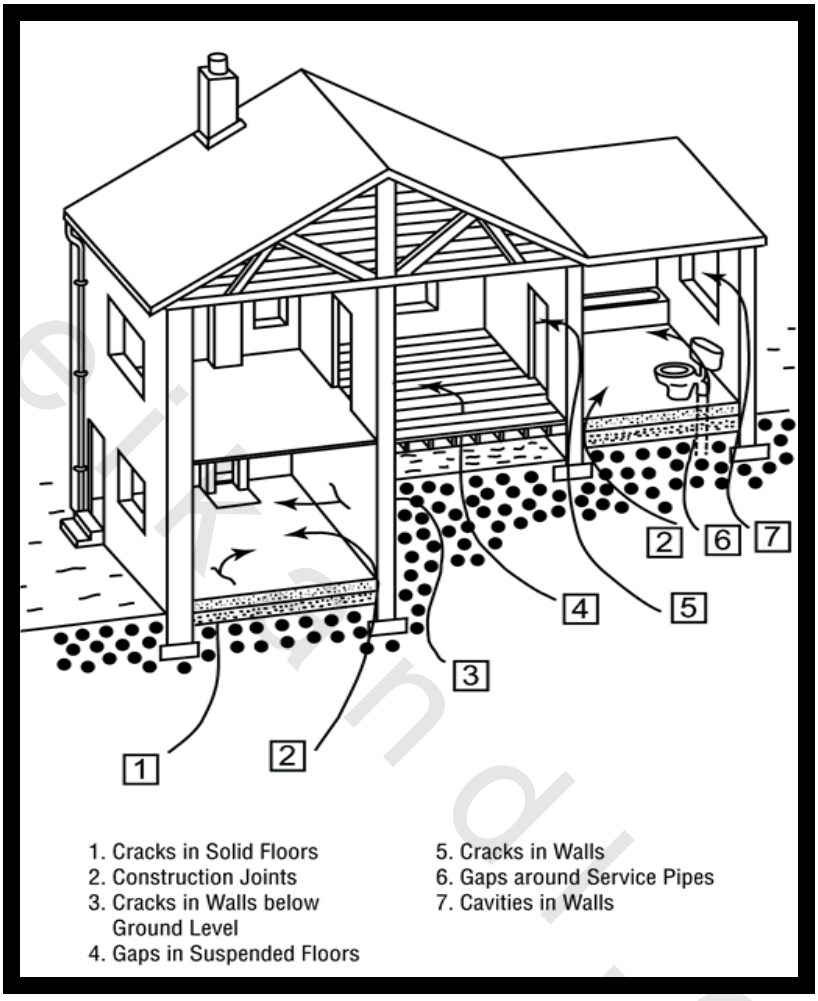
تدخل النظائر المشعة جسم الإنسان من معبرين أساسين هما استنشاق الهواء أو الابتلاع ، فالهواء هو المصدر الرئيسي للجرعة الإشعاعية الطبيعية التي تصل إلى جسم الإنسان ومصدرها الأساسي غاز الرادون الموجود في الأرض والمتولد عن التحلل التلقائي للراديوم - 226 الموجود طبيعياً في صخور قشرة الأرض. شكل (2 – 13) ،أومن مواد البناء وخاصة إذا كانت التهوية في المساكن غير جيدة، . شكل (2 – 14)

شكل (2 – 13) تحلل الراديوم



معدل مكافئ الجرعة الفعالة للرادون – 222 يساوي 2000 µSv \ سنة تقريبا ونواتج الانحلال له كذلك تبعث جسيمات بيتا .الرادون خطر إشعاعيا لأنه يمكن أن ينتشر في التربة ويزداد الانتشار إذا كانت رطوبة التربة قليلة وعندما ينحل تكون نواتج التحلل بواعث لأشعة الفا وبسبب شحنتها الموجبة تنجذب إلى دقائق الأتربة في الهواء وتلتصق بها وعند استنشاقها فقد تترسب في الرئتين .

شكل (2 – 14) انتشار الرادون إلى المساكن



تنحل هذه الدقائق ببعث جسيمات ألفا كذلك والتي تؤدي إلى تعرض الرئتين إلى جرعة إشعاعية قد تؤدي إلى حصول سرطان الرئة كما يحصل لعمال المناجم او المساكن المشيدة من الأحجار او الاسمنت ذات التهوية السيئة والذي ينبعث منها الرادون المشع بتركيز عالي وخاصة في المناجم.

وتصل المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان عن طريق تناوله النباتات أو لحوم الحيوانات التي تتغذي على النباتات وتدخل المواد المشعة أيضاً مع الماء الذي نشربه حيث تحتوى المياه على سلسلة اليورانيوم لذلك تكون أجسامنا حاوية على مواد مشعةً لوجود بعض العناصر المشعة. يحتوي جسم الإنسان على كميات ضئيلة من

العناصر المشعة مثل الكربون- 14 والبوتاسيوم - 40 إضافة إلى ذلك فقد يتواجد كلاً من غَازَيْ الراديوم والثوريوم المشعين في جسم الإنسان الناتجين عن تفكك أو اضمحلال الراديوم والثوريوم الموجودين في التربة طبيعياً وذلك عن طريق الجهاز التنفسي. وكذلك يمكن دخول بعض المواد المشعة إلى جسم الإنسان عن طريق الغذاء الذي قد يكون حاوياً على كمية ضئيلة من المواد المشعة.

في أثناء الحرب العالمية الثانية استخدم العلماء النشاط الإشعاعي الصناعي لإنتاج نظائر مختلفة ، وامكنهم بذلك تحضير عناصر المجموعة الرابعة التي لم تكن موجودة في الطبيعة ويعتبر البلوتونيوم العنصرالاب لهذه المجموعة ولذلك فهي تعرف بمجموعة البلوتونيوم. عدد كبير من عناصر هذه السلاسل يدخل في تركيب الصخور والمواد الاولية المستخدمة في البناء. لذلك يتعرض سكان البنايات المنشأ من الكونكريت والحجر الى جرع اضافية خارجية تزيد من التعرض. الرادون من الغازات الخاملة وهو يشترك في الصفات الكيميائية لمجموعة الغازات الخاملة في الجدول الدوري مثل غازات He, Ne, Ar, Kr, و Xe . مركبات الغازات الخاملة لاتتاين لان مداراتها الخارجية مشبعة بثمان الكترونات (عدا الهليوم) . يضاف إلى هذة السلاسل بعض النظائر المشعة الهامة لأنها تتشكل باستمرار في الطبيعة مثل البوتاسيوم ^{40}K عمر النصف له يساوي($1.4x10^{9}$ سنة) ويضمحل ببعث جسيمات بيتا ذات الطاقة 1.3 MeV ويوجد البوتاسيوم المشع- 40 في جسم الانسان فتبلغ نسبتة في العضلات والمخ وخلايا الدم 0.3 ٪ وفي مصل الدم 0.01 ٪. ويوضح الجدول (2- 3) العناصر المشعة الطبيعية في جسم الانسان البالغ القياسي وزنة 70 كغم من البيانات التي وضعتها الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع ICRP .

لقد استعمل الانسان المواد المشعة منذ حوالي مائة عام وخلال الاستعمال اضيفت الى البيئة كميات من المواد المشعة ولكنها قليلة مقارنة بالمواد المشعة طبيعيا وكذلك فان عمر نصف معظمها قليل وبات بالتناقص بعد ايقاف تجارب الاسلحة النووية فوق سطح الارض منذ عام 1963.

الجدول (2- 3) العناصر المشعة الطبيعية في جسم الانسان

النويدات	الكتلة الكلية للنظائر في جسم الإنسان	النشاط الإشعاعي الكلي للنظائر في جسم الانسان	ما يأخذ يوميا من النظائر المشعة
Uranium	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Thorium	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potassium 40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Radium	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Carbon 14	22 ng	0.1 µCi (3.7 kBq)	1.8 ng
Tritium	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polonium	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 fg

يوضح الجدول (2- 4) بعض المواد المشعة الناتجة عن فعاليات الانسان والأسلحة النووية. تدخل النظائر المشعة جسم الانسان من معبرين اساسين هما استنشاق الهواء او الابتلاع فالهواء هو المصدر الرئيسي للجرعة الإشعاعية الطبيعية التي تصل إلى جسم الإنسان ومصدرها الأساسي غاز الرادون الموجود في الأرض والمتولد عن التحلل التلقائي لليورانيوم - 238 الموجود طبيعياً في صخور قشرة الأرض ، أومن مواد البناء وخاصة اذا كانت التهوية في المساكن غير جيدة.

يتناول الإنسان النباتات التي تمتص الموادالمشعة في التربة فتدخل في تركيبها كما أن بعض الغبار الذي يتساقط على النبات يحوي آثاراً من تلك المواد المشعة وتصل المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان عن طريق تناوله النباتات أو لحوم الحيوانات التي تتغذي على النباتات.

الجدول (2- 4) المواد المشعة الناتجة عن فعاليات الانسان والأسلحة النووية.

النويدات	الرمز	عمر النصف	كيف تتولد
التريتيوم Tritium	^{3}H	12.3 yr	انتجت من تجارب الاسلحة النووية ومن مفاعلات الانشطار النووية او مصانع اعادة معاملة الوقود المحترق
Iodine 131	^{131}I	8.04 days	نواتج الانشطارلتجارب الاسلحة النووية ومن مفاعلات الانشطار النووية اواستعمال اليود في تشخيص ومعالجة الغدة الدرقية
Iodine 129	^{129}I	1.57×10^{7} yr	نواتج الانشطارلتجارب الاسلحة النووية ومن مفاعلات الانشطار النووية
Cesium 137	^{137}Cs	30.17 yr	نواتج الانشطارلتجارب الاسلحة النووية ومن مفاعلات الانشطار النووية
Strontium 90	^{90}Sr	28.78 yr	نواتج الانشطارلتجارب الاسلحة النووية ومن مفاعلات الانشطار النووية
Technetium 99	^{99}Tc	2.11×10^{5} yr	نواتج الانحلال لنظير ^{99}Mo المستخدم في التشخيص الطبي
Plutonium 239	^{239}Pu	2.41×10^{4} yr	تتولد نتيجة لقصف اليورانيوم ^{238}U بالنيوترونات ($^{238}U + n \rightarrow {}^{239}U \rightarrow {}^{239}Np + \beta \rightarrow {}^{239}Pu + \beta$)

تدخل المواد المشعة أيضاً مع الماء الذي نشربه حيث تحتوى المياه على سلسلة اليورانيوم لذلك تكون أجسامنا حاوية على مواد مشعة ً لوجود بعض العناصر المشعة فيها مثل البوتاسيوم- 40 و الكربون -14 . الجدول (2 – 5) يوضح مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة عن المصادر الطبيعية والصناعية في امريكا. الشكل (2 - 15) يوضح التعرض الاشعاعي الطبيعي و الصناعي للسكان في امريكا .

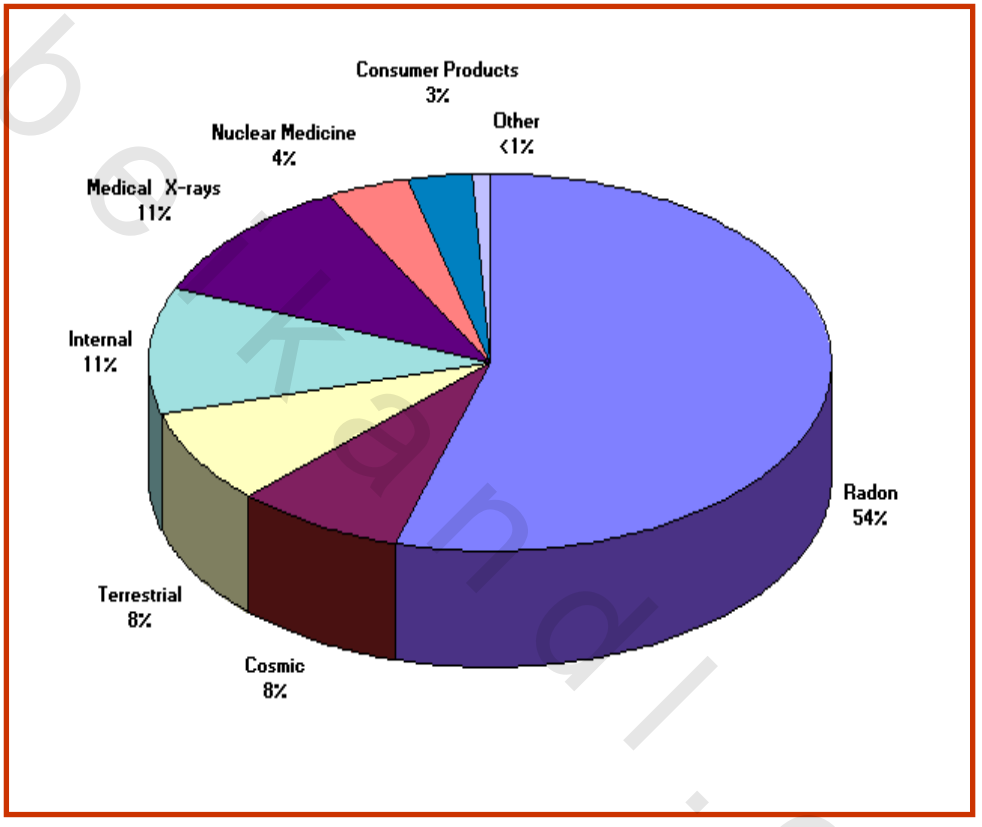
تحتوي المواد الغذائية على كميات قليلة من العناصر المشعة من اهمها البوتاسيوم المشع (^{40}K) والراديوم^{226}Ra واليورانيوم ^{238}U ووليداتها لجدول(2- 6)

الجدول (2 - 5)مكافئ الجرعة الفعالة للسكان في امريكا

مصدر الإشعاع	المعدل السنوي للجرعة لمكافئة المؤثرة مايكرو سيفرت
استنشاق الرادون ونواتج الانشطار	2000
النظائر المشعة الاخرى المترسبة داليا	390
الاشعاع الأرضي	280
الاشعاع الكوني	27
الاشعاع ذات الأصل الكوني	10
كمية الاشعاع الكلية التقريبية من المصادر الطبيعية .	3000
كمية الاشعاع الكلية التقريبية من المصادر الطبيعية .	600
المجموع	3600

تحتوي مواد البناء على بعض النظائر المشعة كون lw]v هذة المواد من باطن الارض اومن النباتات الجدول (2 - 7) .

شكل (2 - 15) التعرض الاشعاعي الطبيعي و الصناعي للسكان في امريكا



obeikandl.com

الجدول(2- 6) المواد المشعة طبيعيا في الغذاء

المادة الغذائية	^{40}K pCi/k	^{226}Ra pCi/kg
الموز	3,520	1
الفستق البرازيلي Nuts	5,600	1,000-7,000
الجزر	3,400	0.6-2
البطاطا	3,400	1-2.5
اللحوم الحمراء	3,000	0.5
ماء الشرب	---	0-0.17

الجدول (2 - 7) النظائر المشعة في مواد البناء

المادة	اليورانيوم		الثوريوم		البوتاسيوم	
	Ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
حجر الجرانيت	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
الرمل	0.45	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
السمنت	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
احجار الكلس	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
الحصى	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
الجدران الخشبية	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)

obeikandl.com

2 - 7 مصادر الاشعاع الصناعي :

احتل التعرض الناتج عن المصادر الاشعاعية المستخدمة في الطب المرتبة الاولى بين مصادر التعرض البشري للمصادر الصناعية. حيث يستخدم الاشعاع للاغراض التشخيصية والعلاجية. وتتراوح الجرعة التي يتعرض لها المريض عند التشخيص بين 1 ملي سيفرت/سنة الى 50 ملي سيفرت/سنة. اما استخدام الاشعاع في العلاج فانه يعرض المريض الى جرعة تزيد آلاف المرات عن جرعة التشخيص ولكن هذه الجرعة في العموم يتعرض لها عضو معين وليس عموم الجسم وتجزأ هذه الجرعة الى عدد من المرات.

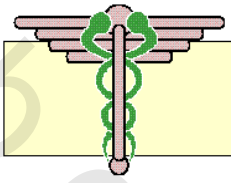
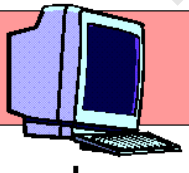
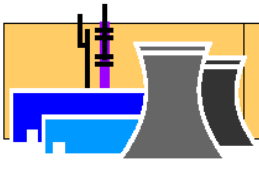
تعتمد الجرعة الناتجة عن التشخيص الطبي بالاشعة السينية على نوع الاشعة السينية المستخدمة ، زمن التعرض، طاقة الاشعاع، نوع النسيج المشع وحجم الاشعاع الساقط. وقد شاع في السنوات الاخيرة استخدام بعض المواد الصيدلانية المشعة لاغراض التشخيص او العلاج، وان استخدام مثل هذه المواد يزداد بنسبة 25٪ كل عام.

ان اخطر انواع التعرض للاشعاع هو تعرض الجنين في المراحل الاولى من الحمل وخاصة في الاسبوعين الثاني وحتى السادس. واكثر الانسجة تعرضا للتشخيص الطبي هو نخاع العظم لارتباطه بالاصابة باللوكيميا والغدد التناسلية نتيجة للطفرات الوراثية وعادة ما توضع مستويات ارشادية للتعرض الطبي وان تكون هذه المستويات مؤشرا معقولا للجرعات للمرضى وللكادر الطبي وتضعها الهيئات المهنية ذات الصلة بالتشاور مع الهيئة الرقابية واستخدام هذه المستويات بمرونة للسماح بالتعرضات العالية إذا كانت الآراء الطبية السليمة تشير بذلك.

اما التعرض الناتج عن تجارب تفجيرات الاسلحة النووية للفترة مكن 1945 - 1963. فقد كانت تجرى التجارب فوق سطح الارض ونيجة للمتساقطات العالمية (Fallout) فقد تلوثت الكرة الارضية بنواتج الانشطار واهمها السيزيوم - 137 والتي زادت من التعرض الصناعي . كذلك فبعض المنتجات الاستهلاكية الصناعية (consumer products) الحاوية على المواد المشعة تعتير مصدرا اخر للتعرض

الصناعي مثل بعض الزجاج المعامل بالثوريوم او اجهزة التلفاز الملون. شكل (2 – 16) .

شكل (2 – 16) العناصر المشعة صناعيا

	Source	mrem/year
	Medical	90
	Fallout	5
	Consumer products	1
	Nuclear power	0.3

obeikandl.com