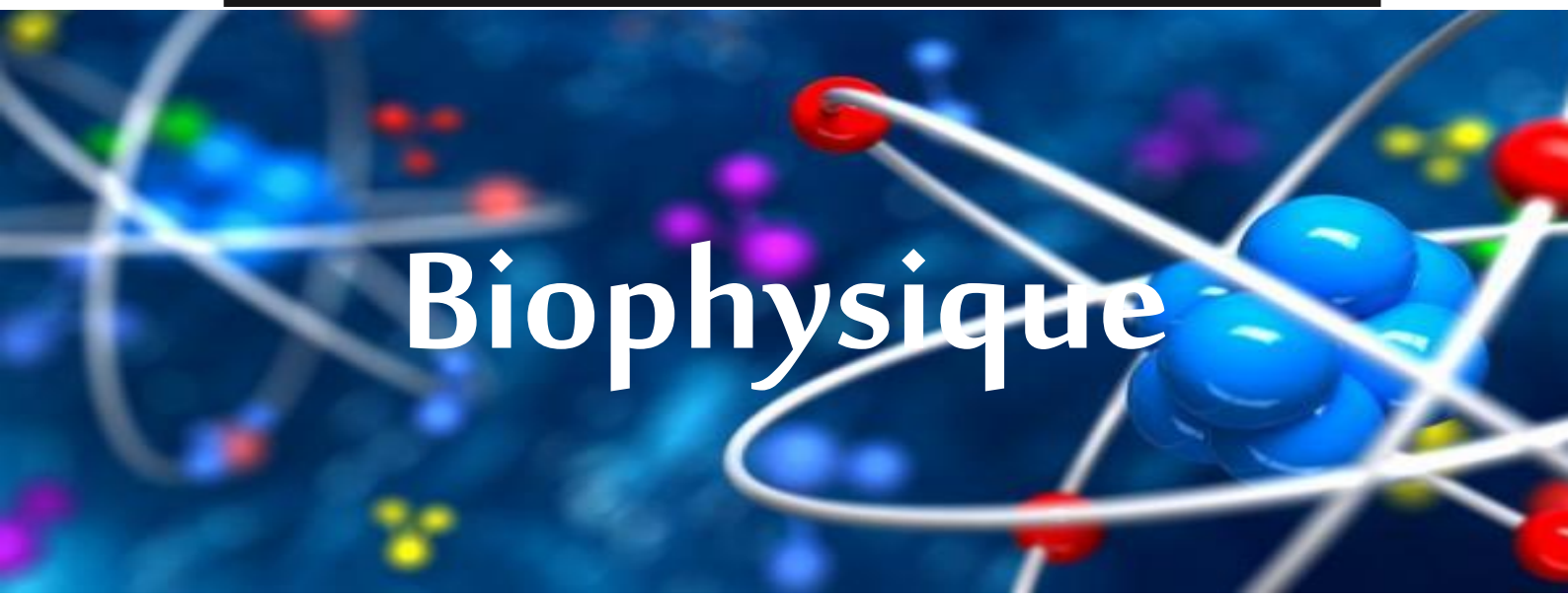
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم المادة

مذكرة دروس:

الفيزياء الحيوية

السنة الثالثة ليسانس (ل.م.د) فيزياء المواد



إعداد: د. زواي سهيلة

2024/2023

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المحتويات	I
مقدمة	1
الفصل الأول: مفاهيم أولية عن الذرة و النواة	2
مدخل	2
تعاريف ومصطلحات تمهيدية	2
تمارين مقترحة	10
الفصل الثاني: الأشعة السينية الإنتاج و الخصائص	11
مدخل	11
الأشعة السينية	11
مصادر الأشعة السينية	13
آليات انبعاث الاشعة السينية	14
المرشحات	19
تمارين مقترحة	21
الفصل الثالث: التحولات المشعة و خصائص الاشعاعات	22
مدخل	22
النشاط الاشعاعي و الاشعاعات	22
تمارين مقترحة	47
الفصل الرابع: الكشف عن الاشعاعات المؤينة	48
مدخل	48
مبدأ الكشف عن الاشعاعات	48
أنواع الكواشف عن الاشعاعات	49
تمارين مقترحة	52
الفصل الخامس: التطبيقات الطبية للإشعاعات المؤينة	53
مدخل	53
النظائر المشعة و استخدامها في الطب	53
المعالجة الاشعاعية في الطب النووي	59
رصد الأشعة السينية التشخيصية	59
تمارين مقترحة	60
الفصل السادس: تفاعل الاشعاعات المتبادل مع المادة	61
مدخل.	61
تفاعل الاشعاعات مع المادة	61

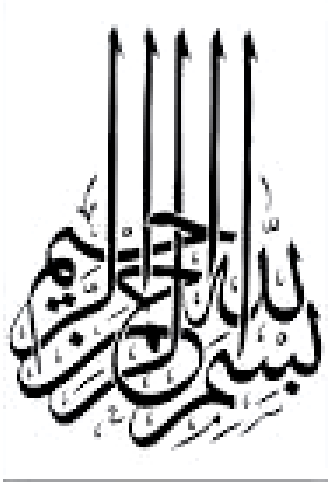
المحتويات

تمارين مقترحة 70
الفصل السابع: التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة 71
مدخل 71
فسيولوجية الانسان 72
تفاعل الاشعاعات المؤينة مع الجسم 73
تمارين مقترحة 79
الفصل الثامن:وحدات قياس الجرعات الإشعاعية و تحديدها 80
مدخل 80
وحدات قياس الجرعات الاشعاعية 80
حساب معدل جرعة التعرض الخارجي من مصادر مشعة 85
تمارين مقترحة 90
الفصل التاسع: الحماية من الاشعاع و تشريعات الحماية 92
مدخل 92
عوامل التحكم في الجرعات الخارجية 92
تشريعات الحماية من الاشعاع 97
تمارين مقترحة 101
المراجع 102

ملاحظة

لأسباب تتعلق بالارتباط الوثيق للفصل السابع و الثامن و العاشر وفق البرنامج المفصل للمقياس (مرفق)، تم دمجهم في الفصل السابع من مذكرة الدروس تحت عنوان التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة.

مقدمة



هذه المطبوعة البيداغوجية أو مذكرة الدروس هي حصيلة العديد من الدروس المقدمة لطلبة الفيزياء قسم علوم المادة لجامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي-تبسة-. و هي موجهة خصيصا لطلبة السنة الثالثة ليسانس فيزياء (لـ.م.د) تخصص فيزياء المواد، إذ أنها تغطي مقرر دروس مادة الفيزياء الحيوية للسداسي الخامس.

و تكمن أهمية هذه المطبوعة في جمعها بين أساسيات الأشعة المؤينة الناتجة من مصادر مختلفة و انعكاساتها على حياة الانسان وقد راعينا فيها مبدأ التبسيط و التفصيل.

و قسمت هذه المطبوعة إلى تسعة فصول (تبعا لنموذج المطابقة لمقرر الفيزياء الحيوية التابع للوحدة التعليمية الاستكشافية لسنة 2019/2018 تخصص ليسانس فيزياء المواد). فيتناول الفصل الأول بعض التعاريف والمصطلحات التمهيدية والتي سيتكرر ذكرها خلال الفصول القادمة. و يتناول الفصل الثاني بعض وسائل إنتاج الأشعة السينية بالإضافة إلى أبرز خصائصها. في حين يتضمن الفصل الثالث عموميات حول النشاط الاشعاعي و نواتجه. و أما الفصل الرابع فأشار باختزال إلى بعض وسائل الكشف عن الاشعاعات المؤينة و المسح الاشعاعي. و تلاه الفصل الخامس موضحا كيفية استخدام الأشعة في المجال الطبي. و أما الفصل السادس فتطرق لتفاعل الأشعة مع المادة. في حين أن الفصل السابع خصص للتأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة كما تطرق للمخاطر المحتملة عند التعرض للأشعة و تأثيرات التعرض للجرعات الاشعاعية المختلفة. في حين تضمن الفصل الثامن سردا مبسطا لوحدات قياس الجرعات الاشعاعية. و قد وردت طرق الوقاية و التدابير المختلفة للحماية من الأشعة و الهيئات المسؤولة عن وضع معايير التعامل الآمن معها في الفصل التاسع. و قد أختتم كل فصل من هذه الفصول بمجموعة من التمارين المقترحة.

و أخيرا أأمل في أن تكون هذه المطبوعة، بمثابة نقطة البداية لمن هم في مرحلة الدراسة، للانطلاق نحو المزيد من البحث، الذي قد يؤدي إلى التخصص في أحد جوانب هذا الموضوع الرحب.

و الله أسأل أن يعلمنا ما ينفعنا، و أن ينفعنا بما علمنا، فعليه التوكل، و منه التوفيق و السداد.

الأستاذة: د. زواي سهيلة

1

مفاهيم أولية عن الذرة و النواة

1.1 مدخل

خلق الله الكون الذي نسكن جزءا منه، من مجموعة مواد كالماء و الهواء و الرمل و الحديد و الخشب. و توجد المادة في هذا الكون على شكل عناصر منفصلة أو مركبات لهذه العناصر أو في شكل مخاليط من عدة مواد. أما العنصر (element) فهو الصورة الأولية للمادة و لا يمكن تحويله إلى صورة أبسط بالطرق الكيميائية. و تتألف كل المواد الموجودة في هذا الكون من 92 عنصرا طبيعيا مثل الهيدروجين و الأوكسجين و الحديد و الذهب و غيرها. كما يمكن انتاج عدة العشرات من العناصر الأخرى بطرق صناعية مثل البلوتونيوم ذي الأهمية البالغة في الأسلحة النووية و بعض المفاعلات.

و عند اتحاد عنصرين أو أكثر اتحادا كيميائيا يتكون ما يسمى بالمركب (compound) فعلى سبيل المثال يتكون الماء من عنصري الهيدروجين و الأكسجين. في حين يتكون السكر من عناصر الكربون و الأكسجين و الهيدروجين. كذلك يمكن أن يتحلل المركب إلى عناصره الأولية باستخدام الطرق الكيميائية. و لكل مركب خصائص و مميزات مختلفة فمنها السائل و الصلب و الناقل و العازل و كذا الخامل و المشع موضوع هذا الدرس. و قبل التطرق بالتفصيل للنشاط الاشعاعي و نواتجه و تأثيره من المفيد البدء ببعض التعاريف والمصطلحات التمهيدية والتي سيتكرر ذكرها خلال الفصول القادمة، وكذلك بعض الوحدات المستخدمة في الفيزياء النووية.

2.1 تعاريف ومصطلحات تمهيدية

1.2.1 الذرة The atom

يتكون العنصر من وحدات متشابهة و متناهية في الصغر يطلق عليها اسم الذرات. و تختلف العناصر باختلاف ذراتها. وتتكون ذرة كل عنصر من جسم مركزي حجمه صغير جدا يعرف بالنواة (nucleus) و يبلغ نصف قطرها حوالي 10^{-13}cm و يدور حولها عدد من الالكترونات في مدارات يبلغ نصف قطرها 10^{-8}cm. و تتكون النواة بدررها من جسيمات تعرف بالبروتونات (protons) و النيوترونات(neutrons).

1- **النيوترون (neutron):** هو أحد مكونات النواة متعادل الشحنة (Z=0) وعدده الكتلي (A=1) ، وذو كتلة تساوي تقريبا لكتلة البروتون حيث تبلغ $1.6749\ 10^{-27}$ Kg (1.0086649 u) وأكبر من كتلة الالكترون.

2- **البروتون (Proton):** جسيم نووي لا يختلف عن النيوترون، بصورة عامة سوى أن له شحنة تساوي شحنة الالكترون ($+1.6\times10^{-19}$ C).

3- **النيوكليون (nucleon):** يقصد بالنيوكليون إما البروتون او النيوترون.

4- **الالكترون (Electron):** جسيم يدور في قشرات خارجية للنواة، مشحون بشحنة سالبة تساوي (-1.6×10^{-19} C). و الالكترون ذو كتلة صغيرة جدا بالمقارنة مع كتلة البروتون حيث ($m_p=1836\ m_e$) لذا يمكن اهمال كتلة الالكترون عند الحديث عن كتلة الذرة بصورة عامة في ما عدا الحالات التي تتطلب ادخال كتلة الالكترون في الحساب. و هكذا تشكل كل من النيوترونات و البروتونات الجسيم المركزي للذرة و المعروف بالنواة و تدور حولها الالكترونات في مدارات أو قشرات (orbits or shells) و يتسع أقرب مدار للنواة لإلكترونين فقط و يعرف باسم المدار أو القشرة K (K-shell) ، في حين يتسع المدار الثاني و المعروف باسم L لثمانية الكترونات و المدار الثالث و المعروف باسم M لثمانية عشر الكترونا. و الذرة متعادلة كهربائيا حيث أن عدد البروتونات الموجبة في النواة يساوي عدد الالكترونات السالبة في المدارات، و تعد ذرة الهيدروجين أبسط الذرات على الاطلاق و هي الذرة الوحيدة التي لا تحتوي على نيوترونات في نواتها.

2.2.1 العدد الكتلي و العدد الذري

1- **العدد الذري Z (Atomic number):** و هو عدد البروتونات الموجودة داخل النواة والذي يساوي عدد الالكترونات خارجها ، لذا فان الذرة متعادلة كهربائيا.

2- **العدد الكتلي A (mass number):** و هو اقرب عدد صحيح من الوزن الذري الدقيق لأي نواة، فمثلا بالنسبة لنظير الهيدروجين ^{1}H يكون A=1، في حين يكون الوزن الذري الدقيق لهذا النظير مساويا 1.0078254 من وحدة الكتل الذرية atomic mass unit (a.m.u) وكذلك بالنسبة الى نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ حيث A=238 في حين يكون الوزن الذري 238.05858941 (a.m.u) و هكذا.

3- **العدد النيوتروني N (Neutron number):** و هو عدد النيوترونات الموجودة في أية نواة، وهي جسيمات عديمة الشحنة.

ملاحظة: إن مجموع العدد الذري (Z) والعدد النيوتروني (N) يكون مساويا للعدد الكتلي (A) أي أن :

$$A=Z+N \ldots\ldots (1.1)$$

وهكذا عندما نريد ان نشير الى نواة معينة، فإننا نستخدم الصيغة الاتية بصورة $^{A}_{Z}X_{N}$ ، حيث X يمثل الرمز الكيميائي لعنصر و Z العدد الذري و N العدد النيوتروني، وفي بعض الاحيان لا يكون من الضروري ذكر عدد النيوترونات الذي يمكن ايجاده من **العلاقة 1.1**.

3.2.1 النظائر (Isotopes)

تحتوي ذرات العنصر الواحد على العدد نفسه من البروتونات، إلا أنها قد تحتوي على عدد مختلف من النيوترونات. و يعني هذا أن العدد الذري للعنصر الواحد لا يتغير، في حين يتغير عدده الكتلي تبعا لعدد النيوترونات. و يقال في هذه الحالة أن العنصر الواحد له عدة نظائر. فمثلا نجد أن للهيدروجين ثلاث نظائر هي:

1- **الهيدروجين** ${}_{1}^{1}H$ تتكون نواته من بروتون واحد و لا تحتوي على نيوترون (A=1, Z=1)

2- **الهيدروجين** ${}_{1}^{2}H$ تتكون نواته من بروتون واحد و نيوترون واحد (A=2, Z=1) و يعرف باسم الديتيريوم.

3- **الهيدروجين** ${}_{1}^{3}H$ تتكون نواته من بروتون واحد و نيوترونين (A=3, Z=1) و يعرف باسم التريتيوم.

و يوجد لكل عنصر عدد من النظائر تصل أحيانا إلى أكثر من خمسين نظيرا للعنصر الواحد. و تكون بعض النظائر مستقرة في حين يكون بعضها الآخر نشط (radioactive) فيصدر إشعاعات نووية. وعموما يوجد العنصر في الطبيعة في شكل خليط من بعض نظائره، و أما بعضها الآخر فلا يوجد في الطبيعة و إنما يمكن انتاجه صناعيا باستخدام المفاعلات و المعجلات النووية.

و تجدر الاشارة إلى أن نظائر العنصر الواحد تتحد في جميع خصائصها الكيميائية، لذلك لا يمكن فصل النظائر بالطرق الكيميائية و انما يتم فصلها عن بعضها بطرق فيزيائية خاصة.

و بالنسبة للعناصر الخفيفة (أي ذات العدد الذري الصغير) يمكن أن يكون عدد النيوترونات مساويا أو أكبر أو أقل من عدد البروتونات. أنا بالنسبة للعناصر ذات الأعداد الذرية المتوسطة و الكبيرة فيكون عدد النيوترونات عادة أكبر من عدد البروتونات. و يزداد الفرق بين هاذين العددين كلما زاد العدد الذري Z و توضح نظائر اليورانيوم هذه الحقيقة، حيث يبلغ العدد الذري لليورانيوم 92 في حين يتراوح العدد الكتلي بين حوالي 230 و240.

4.2.1 بعض مصطلحات الفيزياء النووية

1- **البوزترون (Positron):** هو الكترون مشحون بشحنة موجبة وله نفس كتلة الالكترون السالب.

2- **الفوتون (Photon):** هو وحدة (كم) الأشعة أو الطاقة الكهرومغناطيسية التي تكون على شكل ضوء او أشعة سـ يـ ذ ية او أشعة جاما ويسير بسرعة الضوء ويحمل طاقة تعطى بالعلاقة: $E=h\upsilon$.

3- **النويدة (nuclide):** عينة نووية ذات عدد ذري معين Z وعدد نيوتروني N، والرمز الاكثر شيوعا لتمثيل النويدة هو :

$$X\text{-}A \text{ أو } {}^{A}X \text{ أو } {}^{A}_{Z}X \text{ أو } {}^{A}_{Z}X_N$$

حيث:
X: يمثل الرمز الكيميائي للعنصر
A : العدد الكتلي
Z : العدد الذري او البروتوني

N: العدد النيوتروني

وقد تهمل كتابة N باعتباره معروفا ويساوي الفرق بين A و Z اي ان (N=A-Z)، وقد تهمل كتابة Z باعتبار أن رمز العنصر X يدل على العدد الذري.

4- **الايزوبارات (Isobars):** نويدات تختلف عن بعضها البعض بالعدد الذري Z وتبعا لذلك فهي تمثل عناصر مختلفة، كما وتختلف أيضاً بالعدد النيوتروني N، لكن لها نفس العدد الكتلي A.

و مثال على ذلك: ${}^{8}_{3}Li_5$ ، ${}^{8}_{5}B_3$

5- **الايزوتونات (Isotones):** نويدات عناصر مختلفة لها نفس العدد النيوتروني N، وبالطبع تختلف في العدد الذري Z وتبعا لذلك فهي تختلف عن بعضها بالعدد الكتلي A.

و مثال على ذلك: ${}^{14}_{6}C_8$ ، ${}^{15}_{7}N_8$ ، ${}^{16}_{8}O_8$

6- **الايزوميرات (Isomers):** و هي نويدات عنصر معين في حالة متهيجة ولها عمر معين وطويل نسبياً ويشار لها بالرمز: ${}^{A}_{Z}X^{*}_{N}$

7- **الميزونات (Mesons):** جسيمات كل منها تحمل كتلة أكبر من كتلة الالكترون وأقل من كتلة البروتون. و قد تم افتراض وجود الميزونات باعتبارها المسؤولة عن التجاذب النووي بين البروتون والبروتون او بين البروتون والنيوترون او بين النيوترون والنيوترون، كما تم الكشف عن العديد منها في المختبرات ومنها:

البايونات(Pions) π^{+}، π^{-}، π^{0} و الكيونات(Kaons) K^{+} , K^{-}, K^{o} وغيرها الكثير.

و يضم **الجدول1.1** قائمة بكتل بعض النوى والجسيمات الشائعة.

جدول1.1: قائمة بكتل بعض النوى والجسيمات الشائعة

الجسيم	الرمز	الكتلة (u)	الشحنة
بروتون	P ، ${}^{1}_{1}p$	1.007276	+e
نيوترون	n ، ${}^{1}_{0}n$	1.008665	0
إلكترون	e^{-} ، β^{-} ، ${}^{0}_{-1}e$	0.0005486	-e
بوزترون	e^{+} ، β^{+} ، ${}^{0}_{+1}e$	0.0005486	+e
جسيم ألفا	α ، ${}^{4}_{2}He$	4.0015	+Ze

5.2.1 بعض الوحدات المستعملة في الفيزياء النووية

1- **فيرمي (Fermi):** وهي تعادل 10^{-15} m فمثلا الابعاد النووية تتراوح من 1 إلى 7 Fm، و مدى القوى النووية بحدود 1-2 Fm.

2- **بارن (barn):** وتستخدم عادة للتعبير عن المقاطع العرضية للتفاعلات النووية بصورة عامة و البارن يعادل 10^{-28} m^2.

3- **وحدة الكتل الذرية (atomic mass unit):** ويرمز لها بالرمز (a.m.u) أو (u). و تستخدم في قياس الكتل الذرية والنووية وهي تعادل $1.66\ 10^{-27}$ Kg.

4- **مليون الكترون فولت (MeV):** غالبا ما يكون ملائما للتعبير عن وحدة الكتلة الذرية بدلالة مكافئ طاقة سكونها، فبالنسبة لوحدة كتلة ذرية واحدة، ومن خلال تطبيق معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة لأينشتين (**العلاقة 2.1**) فقد أثبت أينشتين أن الطاقة و المادة متكافئتين، بمعنى أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة و الطاقة بدورها يمكن أن تتحول إلى مادة و قد استنتج اينشتين العلاقة التي تربط بين المادة و الطاقة عند حدوث التحول و هي العلاقة المعروفة باسم علاقة تكافؤ المادة و الطاقة :

$$E=m_oc^2 \ldots\ldots(2.1)$$

$$E = (1.66\times10^{-27}\ kg)\ (3\times10^{+8}\ m/s)^2$$

$$E=1.49 \times 10^{-10}\ J$$

وبما أن $1eV=1.6 \times 10^{-19}$ J

فإن:

$$E \cong 931.5\ MeV$$

وغالبا ما يعبر عن الكتلة في الفيزياء النووية بدلالة وحدة MeV/c^2 إذ أن:

$$1\ u = 931.5\ MeV/c^2$$

مثال

أحسب طاقة كتلة السكون للإلكترون بوحدة MeV مع العلم أن كتلة الالكترون تعادل $9.1\times10^{-31}\ kg$.

$$E_e = m_e c^2 = 9.1\ 10^{-31}\ kg\ (3\ 10^8\ m/s)^2$$

$$E_e = 8.18\ 10^{-14}\ J = 0.511\ MeV$$

ملاحظة

الالكترون فولط هي الطاقة التي تكتسبها وحدة الشحنة بالكولوم عند تعجيلها خلال فرق جهد مقداره فولت واحد و عليه فان:

$$1\ eV = 1.6\ 10^{-19} C \quad 1V = 1.6\ 10^{-19}\ J$$

6.2.1 الخواص الثابتة للنواة

1- شحنة النواة (Nuclear charge) Q_N: ترجع شحنة النواة الى شحنة بروتوناتها، إذ أن النيوترونات عديمة الشحنة، لذا فشحنة النواة تساوي العدد الذري Z مضروبا بشحنة البروتون $q_p = +1.6\times10^{-19}\ C$ و منه: $Q_N = Z\ q_p = +1.6\times10^{-19}\ Z$

2- كتلة النواة (Nuclear mass) M_N: إن كتلة النواة في الحقيقة اقل قليلا من مجموع كتلة بروتوناتها ونيوتروناتها ، أي أن:

$$M_N < (Zm_p + Nm_n)$$

حيث m_p كتلة البروتون و m_n كتلة النيوترون، مع العلم أن الفرق بين مجموع كتلة البروتونات والنيوترونات من جهة وكتلة النواة من جهة أخرى قد تحول إلى طاقة لربط النيوكليونات مع بعضها داخل النواة (طاقة ربط نووية).

7.2.1 طاقة الربط النووية (Nuclear Binding Energy)

هي الطاقة التي تتحرر عندما تتجمع النيوكليونات لتكوين النواة، أو هي الطاقة اللازمة لفصل جميع نيوكليونات النواة بعضها عن البعض الآخر. وترجع طاقة الربط النووية هذه الى أن مجموع كتل

النيوكليونات وهي منفصلة عن بعضها أكبر من كتلة النواة الناتجة من تجمعها، وفرق الكتلة هذا قد تحول الى طاقة مبعثرة مما سبب تماسك النيوكليونات مع بعضها، وعليه فطاقة الربط النووية B(A,Z) لنواة عددها الكتلي A وعددها الذري Z هي :

$$B(A,Z)=[Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)]C^2 \quad .....(3.1)$$

حيث: m_p كتلة البروتون و m_n كتلة النيوترون و N العدد النيوتروني و M_N كتلة النواة و c سرعة الضوء.

إذا كانت الكتل مقدرة بـ kg فان الطاقة ستقدر بالجول، ولكن هذه الوحدات غير ملائمة لذلك تستعمل وحدة الكتل الذرية، و عليه إن كانت الكتل مقدرة بوحدة u، مع العلم أن: $1\ u = 931.5\ MeV/C^2$

فإنه يمكن إعادة كتابة **المعادلة 3.1** لتصبح كالاتي:

$$B(A,Z)= [Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)].C^2 \times 931.5MeV/C^2$$

و منه:

$$B(A,Z)=931.5[Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)]\ MeV.....(4.1)$$

وقد جرت العادة على استعمال الكتل الذرية بدلا من الكتل النووية:

$$M(A,Z)=M_N+Zm_e-B_e \quad .....(5.1)$$

حيث M(A,Z): كتلة الذرة و M_N = كتلة النواة و B_e هي طاقة ربط الالكترونات بالذرة وتكون قيمتها صغيرة جدا يمكن اهمالها.

نعوض **المعادلة 5.1** في **المعادلة4.1** فنتحصل على:

$$B(A,Z)=931.5[Zm_p+Nm_n-M(A,Z)+Zm_e]$$

$$B(A,Z)=931.5[Zm_H+Nm_n-M(A,Z)] \quad ..... \ (6.1)$$

***معدل طاقة الربط**

بقسمة طاقة الربط النووية B(A,Z) على العدد الكتلي(A) نحصل على معدل طاقة الربط النووية B_{ave}، أي معدل ربط اي من النيوكليونات داخل النواة (p) أو (n).

$$B_{ave}(A,Z)= B(A,Z)/A \quad \ldots\ldots (7.1)$$

و **الشكل1.1** يمثل العلاقة بين معدل طاقة الربط والعدد الكتليA، ويمكن ملاحظة ما يلي:

-1 يكون المنحنى ثابت نسبيا باستثناء النوى الخفيفة مثل نواة الديوترون ${}^{2}_{1}H$

-2 النوى المتوسطة تمتلك أكبر قيم معدل طاقة الربط النووية مثل نواة الحديد(${}^{56}_{26}Fe$) وبذلك تكون النوى المتوسطة عادة هي الاكثر استقرار وتبلغ قيمة $B_{ave}(A,Z)$ بحدود 8.8 مليون الكترون فولت.

-3 النوى الثقيلة تستطيع أن تصبح أكثر استقرار إذا وجد تفاعل نووي معين يستطيع أن ينقلها الى منطقة النوى المتوسطة.

-4 النوى التي لها عدد كتلي يزيد أو ينقص كثيرا عن 60 هي الأقل ترابطا أما التي لها عدد كتلي قريب من 60 فهي العناصر الاكثر استقرار.

-5 بعد قيمة العدد الكلي 60 تبدأ قيمة $B_{ave}(A,Z)$ بالنقصان التدريجي ويمكن تفسير هذا النقصان الى كونه ناتج عن تفعيل التنافر الكولومي بين البروتونات الذي يزداد تأثيره بزيادة Z الناتجة عن زيادة A.

-6 ظهور قمم على المنحني عند A=4, 8, 12, 16

مثال:

أوجد طاقة الربط النووية لنواة النيتروجين(${}^{14}_{7}N$) بوحدة MeV، إذا علمت ان كتلة ذرة النيتروجين 14.003074 u، وكتلة ذرة الهيدروجين 1.007825 u، وكتلة النيوترون تساوي 1.008665 u، ثم استنتج معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون؟

الحل:

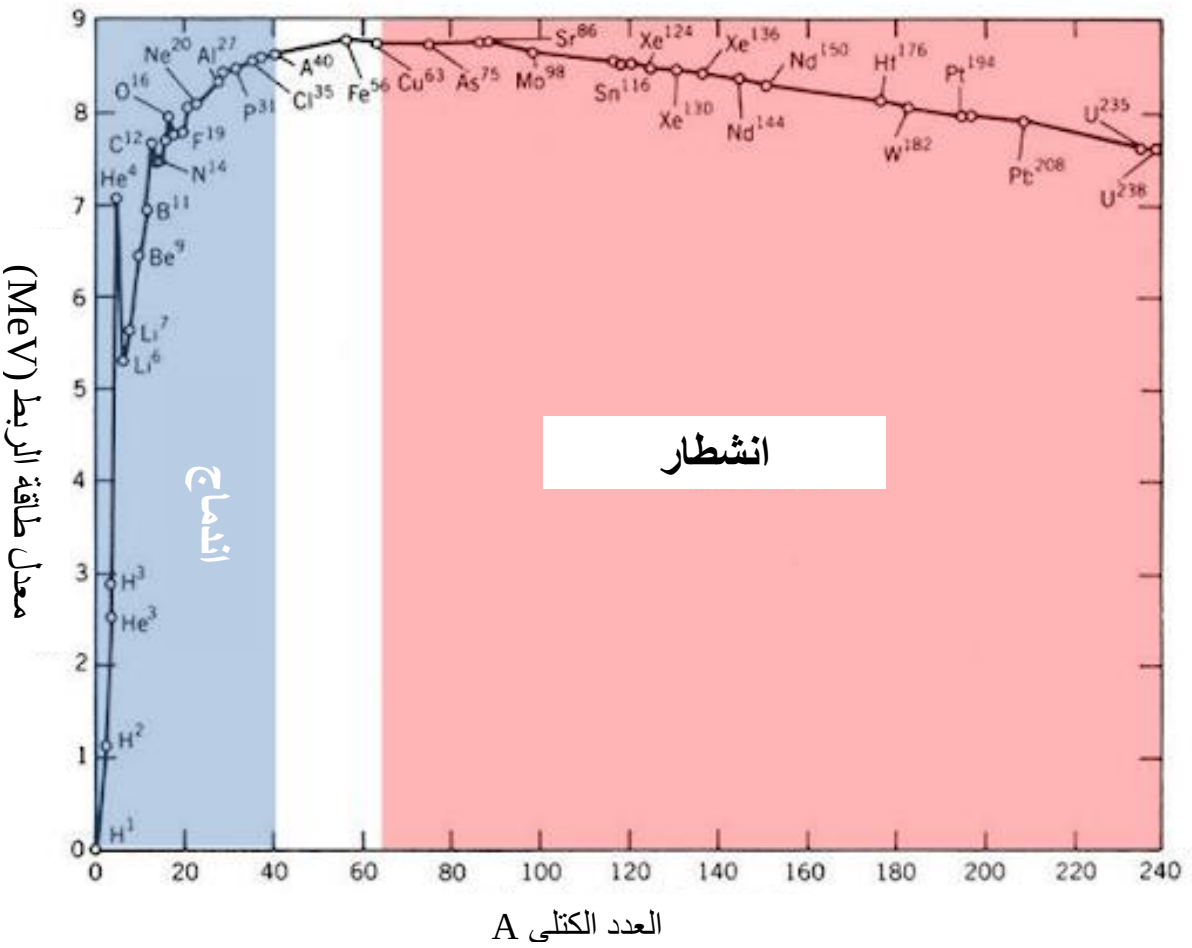
لدينا **العلاقة 6.1** المعرفة لطاقة الربط النووية:

$$B(14,7)=931.5[Zm_H +Nm_n – M(14,7)]$$

$$B(14,7)=931.5[7\times1.007825 - 7\times1.008665 – 14.003074]$$

$$B(14,7)=104.603 \text{ MeV}$$

و منه معدل طاقة الربط: $B_{ave}(14,7)= 7.472$ MeV/nucleon



الشكل 1.1: يمثل العلاقة بين معدل طاقة الربط والعدد الكتلي A

3.1 تمارين مقترحة

1- أرسم رسما تخطيطيا يمثل ذرات العناصر التالية ${}_{1}^{3}H$ ، ${}_{4}^{9}Be$ ، ${}_{6}^{14}C$.

2- ما هي كتلة الالكترون بوحدات الكتل الذرية و بوحدات الميغا الكترون فولت؟

3- ماذا تعني كلمة نظير؟

4- أحسب طاقة الترابط لنواة الهيليوم 4 و طاقة الترابط لكل نكليون في هذه النواة، إذا علمت أن كتلة نواة الهليوم4 هي 4.4.001506u.

5- أحسب طاقة الترابط لنواة الأكسيجين 16 و طاقة الترابط لكل نكليون في هذه النواة، إذا علمت أن كتلة ذرة الاكسجين16 هي 15.994915u (أهمل طاقة ترابط الالكترونات إلى الذرة).

6- أيهما أكثر استقرارا نواة الأكسجين 16 أو الأكسجين17 مع العلم أن كتلة ذرة الأكسجين 17 هي:16.999131u.

7- أحسب طاقة الترابط لنواة الكربون 12 بوحدات الكتل الذرية و بوحدات الميغا الكترون فولت، إذا علمت أن كتلة ذرة الكربون 12 هي 12u.

2

الأشعة السينية

الإنتاج و الخصائص

1.2 مدخل

تتزايد الثروة الانسانية المستمدة من العلم بتسارع كبير، و ذلك مع تقدم عمر البشرية على سطح الأرض. و قد بدأت سنوات الازدهار بتراكم الثروة العلمية في العقد الفريد 1895-1905م، حيث اكتشفت ظواهر و أسست نظريات لم تكن معروفة من قبل أسهمت كثيرا في تغيير مفاهيمنا حول المادة و الطاقة و الكون الذي نعيش فيه. و أولى هذه الاكتشافات التي أعلنت صراحة عن مميزات استخدامها في المجال الطبي و كانت البداية لسلسلة من الخدمات العظيمة المتزايدة باستمرار في ميادين شتى، و تؤثر معظمها مباشرة في حياة الانسان: إنها الأشعة السينية.

2.2 الأشعة السينية X.rays

تعد هذه الأشعة جزءا من الأشعة الكهرومغناطيسية اكتشفت سنة 1895م بواسطة الفيزيائي الألماني فيلهيلم كونراد رونتجن. و تنطلق الأشعة السينية في الفراغ بسرعة تقترب من ثلاث مائة ألف كيلومتر في الثانية بصرف النظر عن طاقتها ($2.99792458\ 10^8$ m/S). و تقدر طاقة الأشعة السينية بوحدة الالكترون فولت.

و يتراوح طول موجة الأشعة السينية ما بين 10 إلى 0.001nm، و من ثم فهي تمتلك ترددات في المدى المتراوح ما بين $3\ 10^{16}$ إلى $3\ 10^{20}$ Hz (Hz.هيرتز). و على هذا الأساس فإن طاقة الأشعة السينية تتراوح ما بين 120 eV و 1.2 MeV (**الشكل 1.2**).

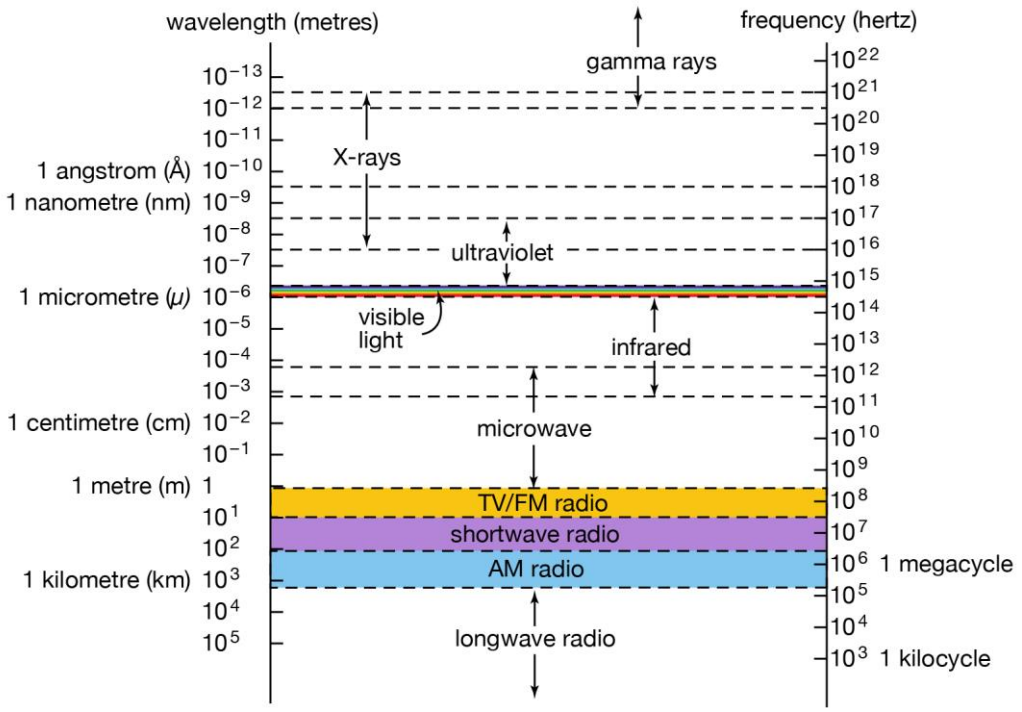
و على الرغم من أن الأشعة السينية و الضوء العادي ينطبقان بالسرعة نفسها في الفراغ، إلا أن الأشعة السينية غير مرئية، و تتميز بقدرة عالية على المرور عبر المواد المختلفة المعتمة للضوء مثل جسم الانسان و الخشب و شرائح رفيعة نسبيا من المعادن كالألمنيوم و الرصاص.

و كل الموجات التي تشكل طيف الأشعة الكهرومغناطيسية ذات تردد أقل من الأشعة السينية ما عدا أشعة غاما. و نتحصل على الأشعة السينية المستخدمة في حياتنا اليومية من أجهزة مخصصة لإنتاجها، في حين نتحصل على أشعة غاما من المصادر المشعة. و معظم أشعة جاما المنطلقة من المصادر المشعة المختلفة ذات طاقة أعلى من الاشعة السينية، لذلك فإنها تمتلك قدرة اكبر مما تملكه الاشعة السينية للمرور عبر المواد ذات الكثافة العالية، حيث تعتمد قدرة اختراقها المواد المختلفة على طاقتيهما و طبيعة المادة التي يمران من خلالها.

و الأشعة السينية شأنها شأن أشعة غاما إذ لا يمكن استشعارها بواسطة حواس الإنسان، كما لا يمكن تغيير مسارهما المستقيم في الفراغ بواسطة المجالات الكهربائية او المغناطيسية المعتادة بيد ان كلتيهما من الممكن ان تحيدا عن مسارهما عن السطح الفاصل بين مادتين مختلفتين او عند التصادم مع جسيمات أولية مثل الالكترونات. و تمثل الأشعة السينية و اشعة غاما و الشريحة العليا في طاقة الاشعة فوق البنفسجية فصيلة الجزء المؤين من طيف الموجات الكهرومغناطيسية (القادر على طرد الالكترونات من ذرات المادة). في حين أن الجزء المتبقي من الطيف الكهرومغناطيسي مثل: الضوء و الأشعة تحت الحمراء و موجات الاذاعة و التلفزيون و الاتصالات و الملاحة يمثل فصيلة الأشعة غير المؤينة.
و على الرغم من التشابه الكبير بين الأشعة السينية وأشعة غاما في خصائص كثيرة فإن الاختلاف الجوهري بينهما يتمثل بالمنشأ، حيث أن الأشعة السينية تنشأ خارج نواة الذرة لذلك تسمى أشعة ذرية. و أما اشعاعات جاما فتنشأ داخل النواة، لذلك تسمى أشعة نووية.

ما هو تصنيف للإشعاع الموجي :

A: الاشعاع المؤين: مثل اشعة γ واشعة X.
B: الاشعاع غير المؤين: مثل الضوء العادي (المرئي) و الأشعة الفوق بنفسجية U.V. و الأشعة تحت الحمراء I.R. و الليزر.



الشكل 1.2: يمثل الطيف الكهرومغناطيسي

3.2 مصادر الأشعة السينية

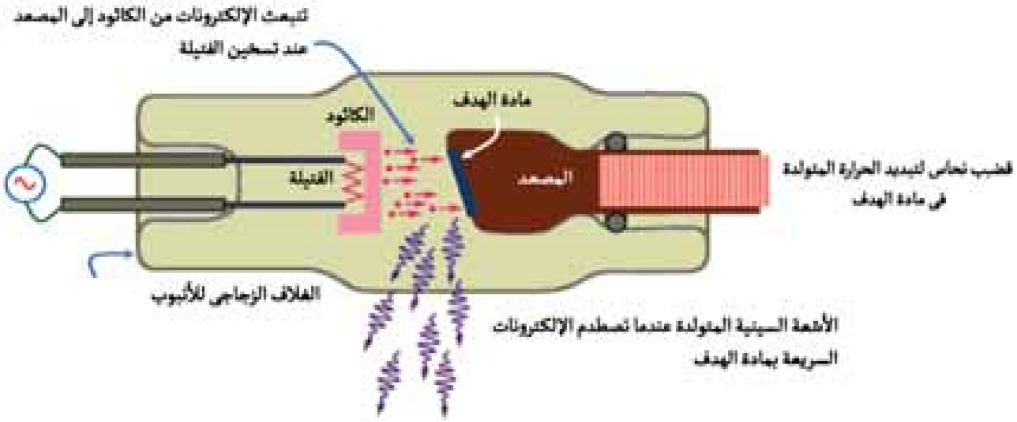
تنحصر مصادر الأشعة السينية منذ اكتشافها إلى يومنا هذا في مجموعتين، مصادر طبيعية و مصادر اصطناعية، فأما المصادر الطبيعية فتتمثل في النجوم الملتهبة الموجودة في أنحاء متفرقة من الكون. في حين تتمثل المصادر الصناعية للأشعة السينية في اجهزة خاصة صنعها الانسان لتتوافق مع الاغراض الحياتية المختلفة. و حري بالذكر أنه مهما اختلف تصميم الأجهزة فإن مقومات الحصول على الأشعة السينية ثلاثة: مصدر الالكترونات و وسيلة لزيادة طاقة حركة الالكترونات بالإضافة الى جسم مادي صلب تصطدم به الالكترونات بعد تعجيلها و يسمى الهدف. و هذه المكونات الثلاث توجد في ابسط صورها داخل أنابيب مفرغة من الهواء و هي تمثل الجزء الرئيسي في اجهزة انتاج الاشعة السينية العادية.

1- أنابيب الأشعة السينية

أنابيب الأشعة السينية إما أن تكون محكمة الغلق، أو أن تكون متصلة بمضخة على نحو مستمر، لحفظ الضغط الداخلي عند قيمة معينة. و يمكن التعرف على المكونات الاساسية لأنابيب الأشعة السينية بالاطلاع على ما يتضمنه **الشكل2.2**. و يلاحظ ان الأجزاء الرئيسية تتمثل في غلاف زجاجي محكم الغلق، يصنع عادة من زجاج خاص يحتوي دائرة الكاثود (المهبط) و الأنود (المصعد)، و ذلك تحت ضغط منخفض جدا (أقل من 0.01 ميليمتر زئبق). و دائرة الكاثود تتضمن فتيلة مغلفة بقناع الكاثود (الفتيلة عبارة عن سلك رفيع جدا من مادة تتمتع بدرجة انصهار عالية حتى لا تتلف بسرعة مع ارتفاع درجة حرارتها). أما المصعد فيتضمن مادة الهدف في مواجهة الكاثود. يضاف إلى ذلك ضرورة وجود مصدر مستمر للطاقة الكهربائية يسبب فرق جهد كهربائي كبير بين طرفي الأنبوب أثناء التشغيل، بشرط أن يكون المصعد موجبا بالنسبة للكاثود. و فرق الجهد الكهربائي يصل إلى عشرات الآلاف من الفولت (KV)

عند تسخين الفتيلة المصنوعة من سلك رفيع من التنجستين ($_{74}W$) في معظم أنابيب الأشعة السينية ينطلق منها فيض من الالكترونات ذات طاقة حركية صغيرة بمعدل يتزايد مع شدة التيار الكهربائي. و تكتسب هذه الالكترونات طاقة كبيرة جدا بسبب تعرضها لفرق جهد كهربائي مستمر أثناء انطلاقها تجاه الهدف يتراوح بين عدة عشرات الآلاف و مئات الآلاف من الفولت و بذلك تكتسب جميع الالكترونات عند انتقالها من المهبط إلى المصعد نفس الطاقة تساوي تماما حاصل ضرب شحنة الالكترون الواحد في فرق الجهد بين المهبط و المصعد و ذلك بوحدة KeV. و يسمى سيل الالكترونات المعجلة بتيار الأنبوب، و عند اصطدام الالكترونات المعجلة بمادة الهدف (التي تصنع حسب الاستخدام من التنجستين $_{74}W$ أو الموليبديوم $_{42}Mo$ أو الروديوم $_{45}Rh$ أو النحاس $_{29}Cu$) فتنتج الأشعة السينية، حيث تنطلق من مادة الهدف إلى جميع الاتجاهات تقريبا، لذلك تستعمل المحزمات (Collimators) لتقييد اتجاه الاشعة السينية الناتجة نحو اتجاه محدد.

و لكي تعمل أنابيب الأشعة السينية بكفاءة عالية لا بد أن يكون ضغط الهواء داخل الغلاف الزجاجي منخفض جدا (تفريغ الهواء عال جدا) و ذلك لمنع الالكترونات المعجلة من التصادم و التفاعل مع ذرات الهواء في الانبوب و من ثم تفقد جزء من طاقتها التي تستخدم للحصول على الاشعة بالكثافة المطلوبة. كما أن تفريغ الهواء من الانبوب يحفظ الفتيلة الساخنة من تغير كفاءة سطحها بسبب الاكسدة و من ثم تنقص كثافة فيض الالكترونات المنبعثة.



الشكل2.2: يمثل رسم توضيحي مبسط لأنبوب الأشعة السينية

4.2 آليات انبعاث الاشعة السينية

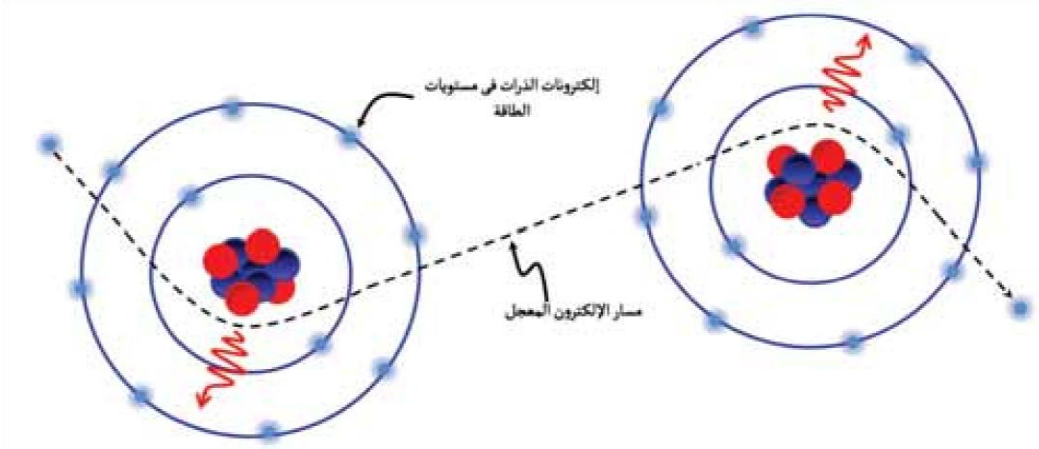
توجد آليتان مختلفتان لإنتاج الاشعة السينية من المادة حيث تسمى الأولى آلية الفرملة و تنتج عنها أشعة سينية مستمرة تسمى أيضا أشعة الفرملة. أما الآلية الثانية فتنتج عنها الاشعة السينية المميزة.

1- الاشعة السينية المستمرة (أشعة الفرملة)

تنتج الأشعة السينية المستمرة عندما يحدث تفاعل بين الالكترونات المعجلة عالية الطاقة مع نوى ذرات مادة الهدف. فعندما يمر الالكترون المعجل بالقرب من النواة يحدث تفاعل بين المجال الكهربائي لكليهما، فينتج عنه انحراف مفاجئ لمسار الالكترون، و فقد جزء من طاقته بسبب تناقص تسارع الحركة، و هو ما يسمى بعملية الفرملة (أنظر **الشكل 3.2**). و الطاقة التي يفقدها الالكترون تنتشر في الفراغ على شكل موجة كهرومغناطيسية.

و قد يتناقص تسارع الالكترون الواحد أكثر من مرة على طول مساره في مادة الهدف، و كل تفاعل من هذا النوع قد ينتج عنه فقدان جزء من طاقة الالكترون أو كلها. و من ثم فإن الفوتونات الناتجة قد تمتلك أي مقدار من الطاقة حتى قيمة عظمى تساوي الطاقة الأصلية للإلكترون المعجل، أي أن طاقة الأشعة السينية الناتجة تكون متصلة و محصورة في مدى معين، لذلك سميت بالأشعة السينية المستمرة.

و يعتمد اتجاه انبعاث الفوتون على طاقة الالكترون أيضا، فكلما زادت طاقة الالكترون يصبح اتجاه انبعاث الفوتون أقرب إلى أتجاه الالكترون المعجل قبل التأثر بالمجال الكهربائي لبروتونات النواة. لذلك عندما تبلغ طاقة الالكترون ملايين من الالكترون فولت، كما يحدث في معجلات الجسيمات، أين تقصف الالكترونات مادة الهدف من جانب واحد فتنبعث الأشعة السينية على الجانب الآخر. بينما في أنابيب الأشعة السينية المنخفضة الجهد الكهربائي نسبيا، تكون عادة الأشعة السينية عمودية على اتجاه الالكترون المعجل (أنظر **الشكل 3.2**).



الشكل 3.2: رسم تخطيطي يمثل انطلاق الأشعة السينية المستمرة عند انحراف الالكترون المعجل عن مساره

و تعتمد كفاءة انتاج الاشعة الهدف، السينية على العدد الذري لمادة و فرق الجهد الكهربائي بين المصعد و المهبط على النحو التالي:

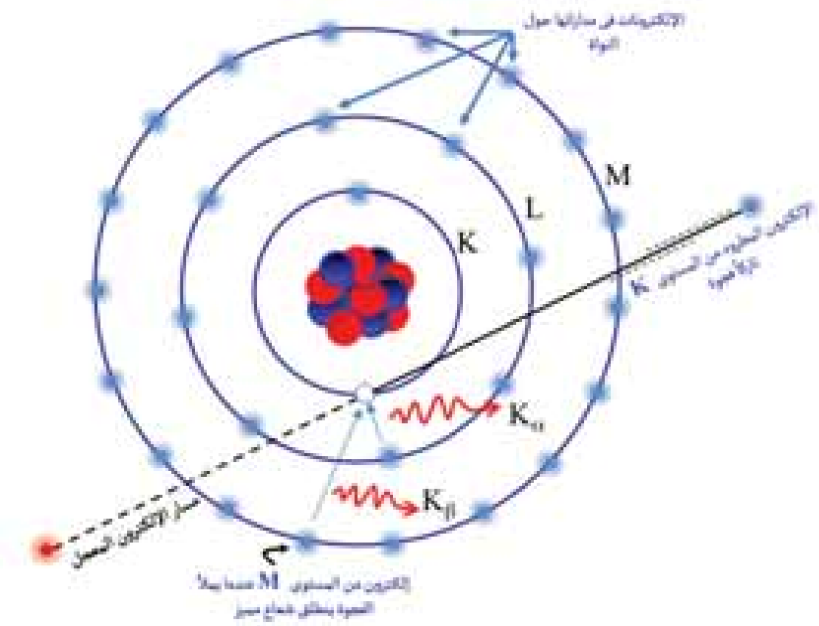
$$P\% = 10 \times 9^{-10} \times Z \times \Delta V$$

ملاحظة

إذا كانت مادة الهدف هي التنجستين (Z=74) و فرق الجهد الكهربائي حوالي 100 KeV فإن الكفاءة تكون 1% و من ثم تكون نسبة الطاقة المتحولة إلى حرارة في أنبوب الأشعة السينية 99% لذلك يجب أن تتسم وسيلة التخلص من الحرارة المرتفعة بالكفاءة العالية، بالإضافة لاختيار مادة هدف ذات درجة حرارة انصهار مرتفعة.

2- الأشعة السينية المميزة للعنصر

لا تعاني كل الالكترونات المعجلة التي تقصف مادة الهدف من تناقص تسارع الحركة، نتيجة اقترابها من نوى الذرات، ولكن جزء من هذه الالكترونات يصطدم بالإلكترونات في المدارات القريبة من النواة. و يترتب على هذا الاصطدام اخراج بعض الإلكترونات عن مداراتها إلى خارج الذرة ومن ثم تتأين الذرات. في حين تنقص طاقة كل الكترون من الالكترونات الأصلية المعجلة بمقدار ما تفقده في التصادم و هو يساوي ما اكتسبه الالكترون المخرج من الطاقة، و جزء من هذه الطاقة ينفقه الالكترون المخرج في التغلب على ارتباطه بنواة الذرة، و يتحرك بالجزء المتبقي من الطاقة بعيدا عن الذرة، تاركا فجوة في المدار الذي كان يشغله. و بمجرد تكون فجوة في المدار، يتهاوى أحد الالكترونات من المدارات الخارجية البعيدة عن النواة، ليملأ المكان الشاغر(أنظر **الشكل 4.2**).



الشكل 4.2: رسم تخطيطي يمثل انطلاق الأشعة السينية المميزة للعنصر، عند انتقال الالكترون من المدارات البعيدة عن النواة، ليملأ الفجوة التي تركها الالكترون المطرود

و يفقد الالكترون المتهاوي جزءا من طاقته ليناسب ما يملكه من طاقة الموضع الجديد، في حين أن الطاقة التي فقدها تنتشر على شكل اشعاع كهرومغناطيسي (فوتون أشعة سينية) تختلف طاقته من عنصر إلى آخر، لذلك تدعى الأشعة المميزة، أي مميزة للذرات المكونة لمادة الهدف، و المدارات التي انتقلت الالكترونات بينها.

و توسم الاشعة السينية المميزة للعنصر بمنحها نفس الرمز الخاص بالقشرة التي ينتقل اليها الالكترون، فعلى سبيل المثال فإنه عند انتقال الالكترون من القشرة L الى القشرة K توسم هذه الاشعة بالحرف K. اما عند انتقال الالكترون من القشرة M الى القشرة L فتوسم الاشعة السينية بالحرف L . ولا يقتصر التوسيم على ذكر رمز القشرة التي ينتقل اليها الالكترون، وإنما يؤخذ في الحسبان، كذلك المستويات الفرعية لنفس القشرة التي يتم الانتقال منها وكذلك المستويات الفرعية التي يتم الانتقال اليها، فعند الانتقال الى القشرة الفرعية الأبعد (اي الأعلى طاقة) وهي القشرة L_3 الى القشرة K توسم بالرمز $K_{\alpha 1}$ ، والأشعة المميزة للانتقال من القشرة الفرعية L_2 الى القشرة K توسم بالرمز $K_{\alpha 2}$ ، و يبين **الشكل 5.2** مخططا للقشرات الفرعية (المدرارات الفرعية للإلكترونات) ولتوسيم الاشعة السينية الناتجة عن انتقال الالكترونات بين هذه القشرات.

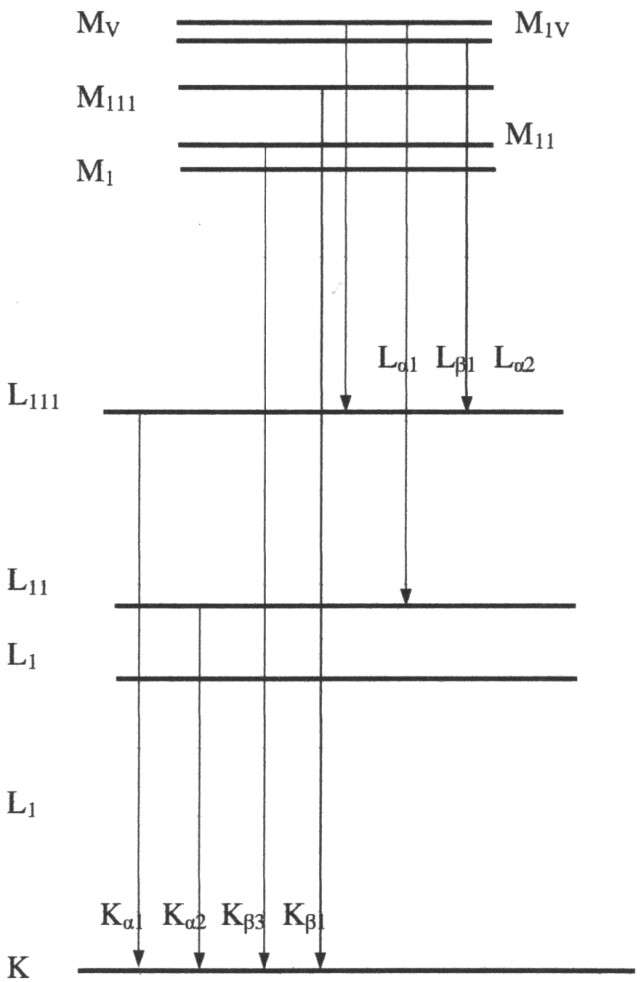
مثال:

اذا علمت ان طاقة ترابط الالكترونات في مدار ذرة الرصاص هي كالمبينة في الجدول التالي، فما هي طاقة اهم الخطوط الطيفية للأشعة السينية المميزة للرصاص.

القشرة	K 1S1/2	L1 2S1/2	L2 2P1/2	L3 2P3/2	M1 3S1/2	M2 3P1/2	M3 3P3/2
طاقة الترابط KeV	-88.005	-15.861	-15.200	-13.035	-3.0851	-3.0554	-3.066

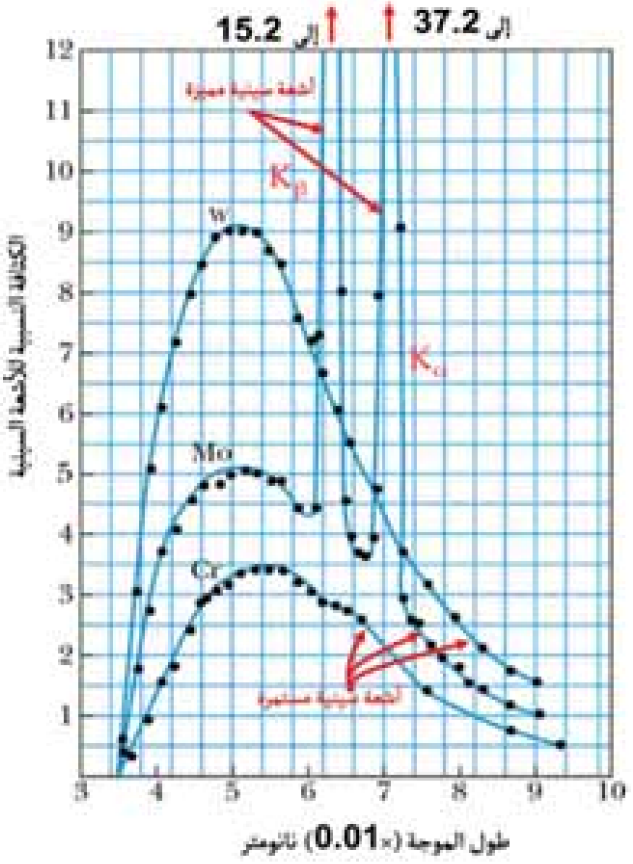
من المعروف ان $k_{\alpha 1}$ تنتج عن انتقال الالكترون من القشرة الفرعية L_3 الى القشرة K . و Kβ الخط المميز الناتج عن انتقال الالكترون من المستوى M إلى المستوى K. بذلك تكون طاقة الاشعة السينية من الرصاص $_{82}Pb$ هي:

$$K_{\alpha 1}\ (L_3 \rightarrow K) = 88.005 - 13.035 = 74.970\ KeV$$
$$K_{\alpha 2}\ (L_2 \rightarrow K) = 88.005 - 15.200 = 72.805\ KeV$$
$$K_{\beta 1}\ (M_3 \rightarrow K) = 88.005 - 3.066 = 84.939\ KeV$$
$$K_{\beta 2}\ (M_2 \rightarrow K) = 88.005 - 3.554 = 84.451\ KeV$$



الشكل 5.2 القشرات و القشرات الفرعية الالكترونية في الذرة وخطوط الاشعة السينية المنبعثة عند انتقال الالكترونيات من القشرات الاعلى للأدنى.

و طاقة الأشعة السينية المميزة تكون دائما في مدى طاقة الأشعة السينية المستمرة، كما هو موضح في **الشكل 6.2** و يرجع السبب في ذلك إلى أن الالكترونات الأولية المعجلة تمتلك ذات الطاقة و قد تفاعلت بطريقتين مختلفتين مع ذرات مادة الهدف، لإنتاج نوعي الأشعة. لذلك تزداد كثافة الأشعة عند طاقات (أطوال موجية) محددة للفوتونات المنبعثة. تلك الطاقات تكافئ الفرق بين طاقة المدارات الداخلية القريبة من نوى ذرات مادة الهدف، و التي تختلف من عنصر لآخر.
و نظرا لاتساع مدى طاقة الاشعة السينية المنبعثة من أي مصدر، فإن كل الفوتونات لا تتمتع بالقدرة نفسها على النفاذ خلال أي مادة، سواء أكانت مادة صلبة أو رخوة، كالجسم البشري و كلما زادت طاقة الفوتونات كانت قدرتها على النفاذ أكبر، و من ثم عند توجيه شعاع بالمواصفات الواردة في **الشكل 6.2** إلى الجسم البشري فإننا نجد ارتداد بعض الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة نحو الخلف (تنعكس)، بينما يمتص الجزء الباقي بالقرب من سطح الجسم. في حين أن الأشعة السينية ذات الطاقة المتوسطة تمتص في الجزء الداخلي، أما ذات الطاقة العالية فتستطيع المرور عبر كل الجسم إلى الجانب الآخر. فإذا كان الغرض من استخدام الأشعة السينية تصوير المكونات الداخلية للجسم، أو أي مادة واقعة تحت الفحص فإن الأشعة النافذة هي المناسبة، و من ثم تصبح الأجزاء الممتصة في الجسم من الأشعة الساقطة معدومة الفائدة، و ربما تصبح ضررا يتمثل بعرقلتها استخدام هذه الأشعة بطريقة مثالية. و أما اذا كان الغرض هو فحص و تفتيش الأشخاص المشتبه في حملهم أسلحة نارية أو غير ذلك مما يخفونه تحت ملابسهم، فتستخدم الأشعة منخفضة الطاقة بكفاءة. لذلك تستخدم المرشحات المختلفة لانتقاء جزء محدد من طاقة الأشعة السينية الناتجة عن المصدر لتلائم التطبيق المنشود.



الشكل 6.2: يبين اعتماد الكثافة النسبية للأشعة السينية (المستمرة و المميزة) المنبعثة من التنجستين (W) و المولبيديوم (Mo) و الكروم (Cr) على الطول الموجي.

ملاحظة:

إلكترونات أوجر Augger electrons

في الفقرة السابقة ورد انه عند حدوث فجوة (أي فراغ الكتروني) في احد القشرات K أو L أو M فإنه يقال أن الذرة مثارة وأنها تعود إلى حالتها غير المثارة بهبوط أحد الالكترونات من المدار الأعلى ليشغل هذه الفجوة أو بهبوط عدد من الالكترونات من مدارات أعلى الى مدارات أدنى لشغل جميع المدارات الأدنى بالعدد المقنن لها من الالكترونات. و ورد أن ذلك يترتب عليه انطلاق أشعة سينية مميزة تكون طاقة الفوتون لكل منها مساوية تماما لفرق طاقتي القشرتين.

إلا أنه لا يحدث في بعض الأحيان انطلاق للفوتون. فعلى سبيل المثال لوحظ انه عند وجود فجوة في القشرة k يمكن ان يهبط الالكترون من القشرة L ليشغل الفراغ الموجود في القشرة k، عندئذ تتكون الفجوة في القشرة L مع انطلاق فوتون أشعة سينية مميزة . إلا أنه قد لا يحدث بعد ذلك هبوط الكترون من قشرة أعلى لشغل الفجوة في القشرة L وإنما يلاحظ انطلاق إلكترون اخر من القشرة التالية M بدلا من فوتون الأشعة السينية. وبهذا تتكون فجوة ثانية في القشرة M. ويطلق على الالكترون المنطلق من القشرة M الكترون اوجر، ويحمل هذا الالكترون طاقة E_e تساوي:

$$E_e=h\upsilon-E_M$$

$$\rightarrow E_e=E_K-E_L-E_M$$

حيث الطاقة $h\upsilon$: طاقة الفوتون الذي ينبغي أن ينطلق عند الانتقال من القشرة L الى القشرة k.

وجدير بالذكر أن هذه العملية تشبه تماما عملية التحول الداخلي التي يتمخض عنها انطلاق الكترونات مدارية بدلا من فوتونات جاما المنبعثة من النواة. إلا أن الكترون أوجر يعني تحول فوتون الاشعة السينية الى الكترون وعدم انطلاق الفوتون وانطلاق الكترون بدلا منه. ويطلق على الكترون اوجر في هذه الحالة الكترون KLM، لأنه بدأ بوجود فجوة في القشرة K وانتهت العملية الى انطلاق الكترون من القشرة M بدلا من الفوتون الناتج عن انتقال الالكترون من القشرة M الى القشرة L.

5.2 المرشحات

المرشح شريحة من مادة ماصة للأشعة السينية و توضع في مسارها، لكي تخفض كثافة الأشعة طويلة الموجة (منخفضة الطاقة). و المرشح المناسب لابد أن تتوفر فيه ثلاث شروط أساسية و هي:

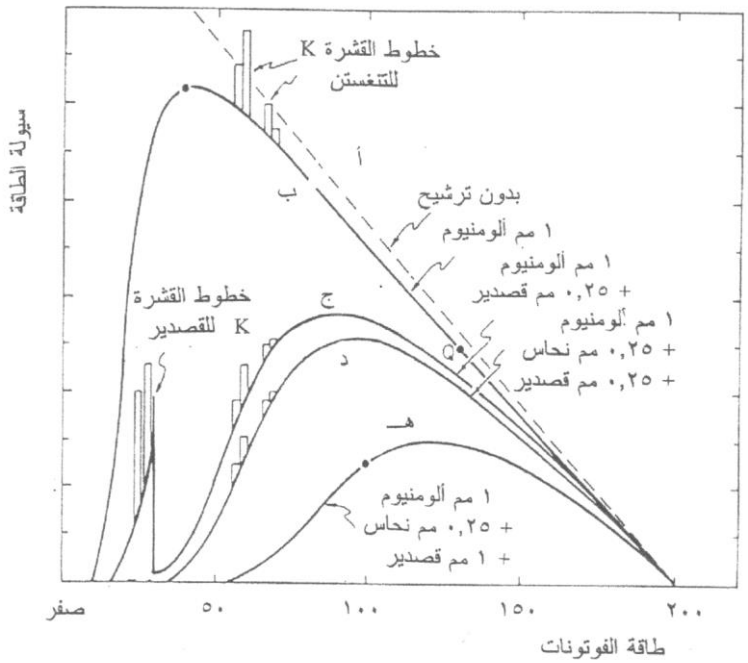
- أن يتفاعل مع الأشعة: ما يسمى بالتأثير الكهروضوئي.
- أن يكون سمك مادة المرشح منتظم و خاليا من الفجوات.
- ألا تكون حافة الامتصاص (أو مستوى الطاقة الأقرب لنواة الذرة) قريبة من طاقة الفوتونات المرغوب فيها: لأن حواف الامتصاص تختلف من عنصر إلى آخر، كما أن لكل غرض طاقة مناسبة، و هذا يعني إمكانية استخدام أكثر من مادة كمرشح و يوضح **الجدول1.2** بعض أنواع المرشحات.

الجدول1.2 : بعض أنواع المرشحات.

الهدف	المرشح	الامتصاص
المولبيديوم	الزركونيوم	الأشعة المستمرة
		K_β
	الحديد	كل الأشعة السينية الناتجة
	المولبيديوم	الأشعة المستمرة
	الألمنيوم	تقليل تأثير الأشعة المستمرة
		امتصاص القمم الناتجة عن انتقال الالكترونات إلى M
	الفضة	تقليل كبير لتأثير الأشعة المستمرة
		امتصاص القمم الناتجة عن انتقال الالكترونات إلى M

1.5.2 المرشحات للأجهزة التشخيصية و العلاجية

إن عدم استخدام المرشحات الملائمة في أجهزة الأشعة السينية التشخيصية قد يؤدي إلى زيادة المخاطر على المريض زيادة كبيرة. لذا يجب استخدام المرشحات الملائمة اللازمة لامتصاص الفوتونات منخفضة الطاقة التي لا تصل عموما إلى العضو الهدف إنما تمتص في الطبقة السطحية (أي في الجلد). و عموما يمكن التخلص من الفوتونات المنخفضة الطاقة بمرشح ثلاثي مناسب. و يبين المنحنى ج من **الشكل 7.2** الناتج عن المرشح المزدوج المكون من طبقتين متتاليتين الأولى عبارة عن شريحة يبلغ سمكها 1mm من الألمنيوم Al و الثانية من القصدير بسمك 0.25mm انخفاض سيولة طاقة الفوتونات في المنطقة المنخفضة (من حوالي 40 إلى 40KeV) إلى ما يقرب من الصفر، إلا أنه تظهر شريحة من الفوتونات منخفضة الطاقة أقل من 29.2KeV ، و تعود هذه الزيادة إلى تفاعل الأشعة السينية مع ذرات القصدير و حدوث الظاهرة الكهروضوئية عليه و بالتالي ظهور الأشعة السينية المميزة للقصدير في صورة نتوءات عالية في حدود 29.2KeV. و يمكن التخلص من هذه النتوءات على المنحنى ج و من مركبات الأشعة السينية المنخفضة الطاقة باستخدام طبقة من النحاسCu يبلغ سمكها 0.25mm توضع بين الألمنيوم و القصدير (المنحنى د). و بزيادة سمك طبقة القصدير إلى 1mm تختفي الفوتونات منخفضة الطاقة تماما (المنحنى ه). و يطلق على المرشح المركب من هذه الطبقات الثلاثة اسم مرشح ثورايوس Thoraeus filters. كما يوجد نوعان آخران من مرشح ثورايوس حيث يتغير فقط سمك طبقة القصدير (إلى 0.8mm أو 1.2mm).



الشكل 7.2: يبين تأثير الترشيح على الأشعة السينية

6.2 تمارين مقترحة

1- إذا علمت أن طاقة الربط بوحدة KeV في القشرات المختلفة لذرة النحاس هي كالمبينة في الجدول التالي:

القشرة	K	L2	L3	M2	M3
طاقة الترابط KeV	-8.980	-0.953	-0.933	-0.077	-0.075

- أحسب طاقة خطوط الأشعة السينية المميزة للنحاس.

2- ما هي مبررات ترشيح حزمة الأشعة السينية.

3- لماذا لا تستخدم مرشحات للحزم الاشعاعية الصادرة من مصادر الكوبالت60 و السيزيوم137 .

3

التحولات المشعة و خصائص الاشعاعات

1.3 مدخل

تتميز العديد من النظائر سواء منها الطبيعية أو الاصطناعية (أي المجهزة باستخدام المفاعلات أو المعجلات النووية) بخاصية تعرف بالنشاط الاشعاعي (radioactivity).

و النشاط الاشعاعي عبارة عن تفكك decay أو اضمحلال disintegration لنواة النظير مع اصدار جسيمات نووية مثل ألفا أو بيتا و قد يتبعها انطلاق اشعاعات جاما. و تعرف النظائر التي يحدث فيها هذا التفكك أو الاضمحلال بالنظائر المشعة. و تجدر الاشارة هنا إلى أن عملية التفكك تحدث في النظائر سواء كانت نقية أو تدخل ضمن مركبات كيميائية أو بيولوجية أو غيرها. كما أن عملية التفكك لا تعتمد إطلاقا على الظروف الطبيعية مثل الحرارة و حالة النظير ...الخ.

2.3 النشاط الاشعاعي و الاشعاعات (Radioactivity and radiation)

1.2.3 النشاط الاشعاعي الطبيعي

1- تعريف: النشاط الإشعاعي الطبيعي هو تحول نووي (يحدث على مستوى النواة)، تلقائي غير مرتقب في الزمن يحدث لنواة مشعة (غير مستقرة) تسمى النواة الأم (Parent nuvleus)، لتتحول إلى نواة أكثر استقرارا تسمى نواة الابن (النواة الوليدة daughter nucleus) ويكون هذا التحول مصحوبا بإصدار جسيمات نووية α أو β و قد يتبعها اشعاع γ.

2- أنواع التفكك الإشعاعي Types of radioactive

a) تفكك ألفا α – decay: نعلم من خلال ما تقدم أن نوى العناصر الثقيلة (الأثقل من الرصاص) تتميز بانخفاض طاقة الترابط لكل نكليون في النواة، لذا فإن هذه النوى غير مستقرة، و تتفكك إلى نوى أخف و أكثر استقرارا. و على سبيل المثال نجد أن نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ التي تتكون من 92 بروتونا و 146 نيوترونا تتفكك إلى نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ التي تتكون من 90 بروتونا و 144 نيوترونا، و ينبعث نتيجة هذا التفكك جسيم α، الذي هو عبارة عن نواة الهليوم و المكون من بروتونين و نيوترونين. و تمثل عملية التفكك بالمعادلة التالية:

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

كذلك نجد أن نواة البولونيوم $^{218}_{84}Po$ تتفكك إلى نواة الرصاص $^{214}_{82}Pb$ مع إصدار جسيم α وفق المعادلة:

$$^{218}_{84}Po \rightarrow ^{214}_{82}Pb + ^{4}_{2}He\ (\alpha)$$

و لكي تكون النواة مشعة لجسيم α يجب أن تكون كتلتها (M_p) أكبر من مجموع كتلتي النواة الوليدة (M_d)و الجسيم α (M_α) أي أنه لتفكك النواة الأم يجب أن يتحقق الشرط التالي:

$$M_p \succ M_d + M_\alpha$$

و لا يتحقق هذا الشرط إلا لنوى بعض العناصر الأثقل من الرصاص و عدد محدود جدا من العناصر الأخف من الرصاص، أما الأخف فإنها تكون مستقرة بالنسبة لإصدار جسيمات α.

و يمكن حساب طاقة جسيمات α الصادرة من نظير معين و ذلك باستخدام علاقة اينشتاين (**العلاقة 1.3** المستخدمة لحساب طاقة الربط النووية) و نكتب:

$$E=[M_p-(M_d+M_\alpha)]C^2 \ldots..(1.3)$$

$$E= 931.5[M_p-(M_d+M_\alpha)]\ MeV \ldots..(2.3)$$

و تتوزع هذه الطاقة بين جسيم α و النواة الوليدة بنسب معاكسة لكتلتيهما و هذا وفقا لقانون انحفاظ كمية الحركة (قانون بقاء الزخم و الطاقة الحركية)، أي أن جسيم α سيحمل الجزء الأكبر من الطاقة الناتجة عن التفكك و نكتب طاقة الجسيم α (E_α) بدلالة طاقة التفكك E:

$$E_\alpha=(M_d/M_p)\ E \ldots..(3.3)$$

ملاحظات

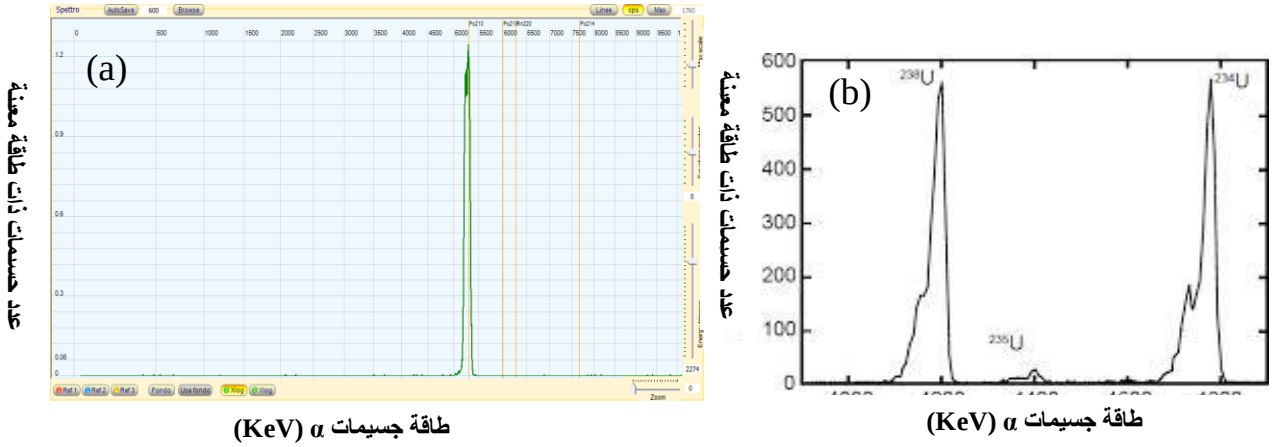
- بما أن كتلة النواة ثابتة و طاقة التفكك ثابتة بالنسبة لكل نواة، تكون طاقة جسيمات α الصادرة عن نظير معين واحدة عندما تتفكك النواة الام الى نواة وليدة في الحالة الارضية.
- قد تتخذ طاقة الجسيمات α قيم متعددة لكنها محددة عندما تتكون النواة الوليدة في حالات مثارة مختلفة. لذلك يقال أن طيف جسيمات α هو طيف محدد الطاقات و يختلف من نظير إلى آخر و يعتبر بصمة من البصمات التي تميز هذا النظير دون غيره و يبين **الشكل1.3** مخطط لطيف α.

ما هي جسيمات α؟

ان المصدر الطبيعي لدقائق الفا هو انحلال اليورانيوم – 238 الى الثوريوم – 234 وهي عباره عن نواة ذرة الهيليوم (بروتونين ونيوترونين) تحمل دقائق الفا شحنه موجبه ثنائيه وكتلتها 4.002603 u ونظرا للكتلة الكبيرة لها فإنها تحتاج الى طاقه كبيره جدا لكي تتحرك بسرعه تقارب سرعة الضوء وعند هذه السرع تعتبر اشعاع موجي ويمكن تطبيق معادلة بلانك عليها $E= h\upsilon$ وعندما تكون سرعتها قليله فإنها تعد جسيما غير نسبي وتطبق عليها القوانين الكلاسيكية لحركة الجسيم $E=mC^2$

مثال

نجد أن طاقة جسيمات الفا الصادرة عن نظير البولونيوم 210 تتخذ قيمة واحدة 5.305MeV (**الشكل1.3-a**)، أما جسيمات ألفا الصادرة عن اليورانيوم 238 فتتخذ قيمتين هما 4.198MeV و 4.149MeV(**الشكل1.3-b**). و يعود السبب في ذلك إلى نواة الثوريوم 234 الوليدة قد تتكون في الحالة الارضية فتتخذ جسيمات α القيمة الاكبر للطاقة. و قد تتكون هذه النواة الوليدة في حالة مثارة فتتخذ جسيمات α القيمة الاصغر للطاقة.



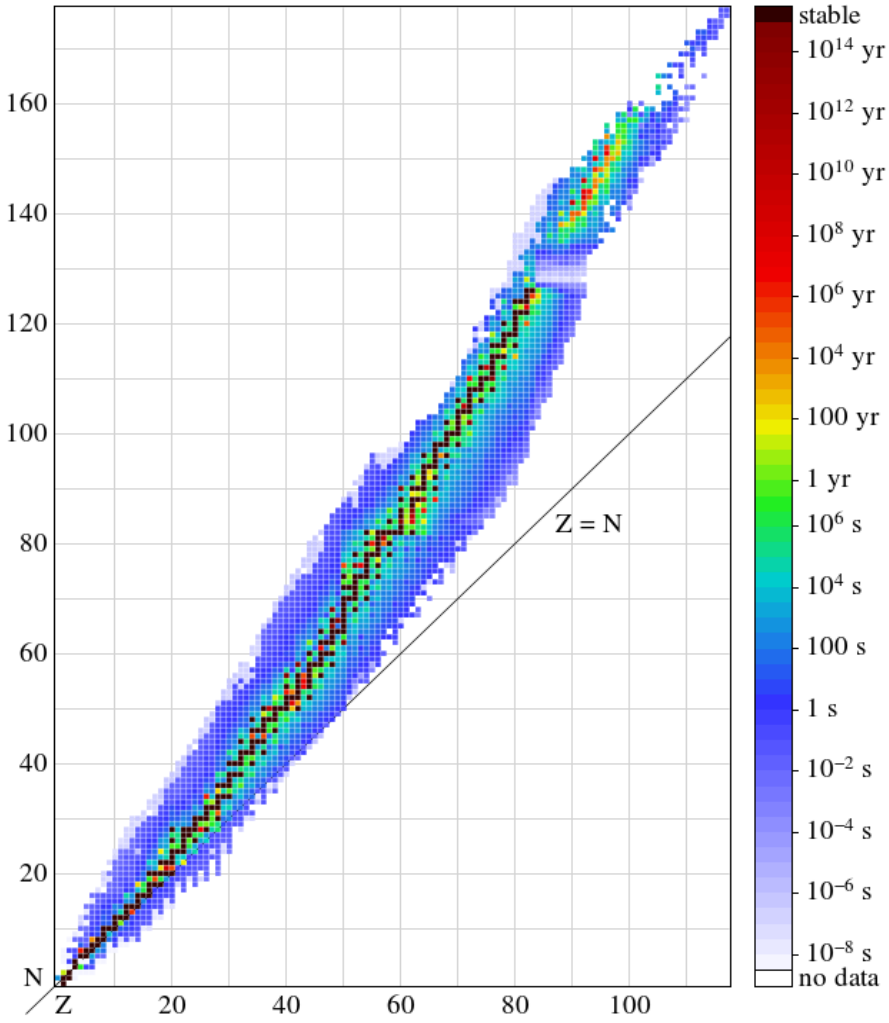
الشكل 1.3: يوضح طيف جسيمات α (a) للبولونيوم 210

(b) لليورانيوم 238

b) تفكك بيتا β – decay: تصدر نوى بعض النظائر المشعة جسيمات أخرى تعرف باسم جسيمات β، و هذه الجسيمات عبارة عن إلكترونات β^- أو بوزيترونات β^+. و البوزيترون (positron)عبارة عن جسيم كتلته مساوية تماما لكتلة الالكترون و لكن شحنته موجبة. و يحدث هذا النوع من التحول في الكثير من النظائر سواء أكانت ثقيلة أم خفيفة.

و لكي يكون النظير مستقرا بالنسبة لإصدار جسيمات β يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات و البروتونات أي N/Z في نواة النظير تتراوح بين 1 بالنسبة للنظائر الخفيفة و تزداد حتى تصل إلى حوالي 1.6 بالنسبة للنظائر الثقيلة. و يوضح **الشكل 2.3** منحنى الاستقرار بالنسبة للتفكك β، و هذا المنحنى

عبارة عن العلاقة بين عدد النيوترونات N و عدد البروتونات Z للنظائر المستقرة. فإذا كانت النسبة بين عدد النيوترونات و البروتونات واقعة على منحنى الاستقرار كان النظير مستقرا بالنسبة للتفكك بيتا، و إذا خرجت هذه النسبة عن المنحنى فإن النظير يكون نشطا بالنسبة لهذا التفكك.



الشكل 2.3: يوضح منحنى الاستقرار بالنسبة للتفكك β

مثال

- نواة نظير الكربون12 (${}^{12}_{6}C$) مستقرة فنسبة النيوترونات إلى البروتونات فيها هي 1 وتعتبر هذه النواة من النوى الخفيفة. أما نواة نظير الكربون14 (${}^{14}_{6}C$) فهي نواة غير مستقرة لأن نسبة النيوترونات إلى البروتونات فيها هي 1.33.
- نواة نظير السيزيوم 133 (${}^{133}_{55}Cs$) مستقرة لأن النسبة لها 1.42. في حين نواة نظير السيزيوم 137 (${}^{137}_{55}Cs$)غير مستقرة لأن نسبة النيوترونات إلى البروتونات فيها هي 1.49.

ملاحظة

- يمكن أن يكون النظير مستقر بالنسبة للتفكك ألفا ولكن غير مستقر بالنسبة للتفكك بيتا و العكس صحيح. فمثلا تعتبر نواة اليورانيوم 238 مستقرة بالنسبة للتفكك بيتا (N/Z=1.587)، و لكنها غير مستقرة للتفكك ألفا. و نتيجة لإصدارها جسيم α تتكون نواة جديدة هي الثوريوم234 (N/Z=1.6)تخرج فيها نسبة النيوترونات إلى البروتونات عن منحنى الاستقرار. و عليه تصبح نواة الثوريوم234 غير مستقرة بالنسبة للتفكك β فتتفكك إلى نواة البروتكتينيوم 234 مع إصدار جسيم بيتا سالب و يعبر عن هذا التفكك كالتالي:

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

1.(b أنواع التفكك β (Types of β decay)

التفكك الالكتروني The electron decay

يلاحظ أن إصدار إلكترون من النواة يجب أن يكون ناتج عن تحول نيوترون من النيوترونات إلى بروتون، وذلك كي تصبح النسبة بين النيوترونات و البروتونات هي نسبة الاستقرار. مع وجوب تحقق الشرط:

$$^{A}_{Z}M \succ ^{A}_{Z+1}M + m_e .....(11.1)$$

و يعبر عن هذا التفكك كالتالي:

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

أمثلة

- تفكك الكوبالت 60 ($^{60}_{27}Co$) إلى النيكل 60 ($^{60}_{28}Ni$) و نكتب:

$$^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + \beta^-$$

- تفكك السيزيوم 137 ($^{137}_{55}Cs$) إلى الباريوم 137 ($^{137}_{56}Ba$).

التفكك البوزتروني (The positron decay)

في بعض الأحيان تكون نسبة النيوترونات إلى البروتونات في نظير معين أقل من النسبة التي تحقق الاستقرار. و في هذه الحالة يتحول أحد بروتونات النواة إلى نيوترون، و ينطلق نتيجة لذلك بوزيترون

يحمل شحنة البروتون الموجبة. و يعرف تفكك β في هذه الحالة بالتفكك البوزيتروني مع وجوب تحقق الشرط:

$$ {}^{A}_{Z}M \succ {}^{A}_{Z-1}M + m_e \ldots\ldots \quad (4.3) $$

و يعبر عن هذا التفكك كالتالي:

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

مثال

تفكك الصوديوم 22 (${}^{22}_{11}Na$) إلى النيون 22 (${}^{22}_{10}Ne$) و نكتب:

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

ملاحظات

- يمكن أن يحدث تحول أحد بروتونات النواة إلى نيوترونات بطريقة أخرى بخلاف المذكورة في التحول البوزيتروني. و يتم ذلك بأن تأسر النواة إلكترونا من الالكترونات المدارية القريبة من النواة (أي من المدار K و في حالات نادرة من المدار L) ليتحد هذا الالكترون المأسور مع أحد بروتونات النواة فيتكون النيوترون دون اصدار جسيم β. و تعرف هذه الحالة بالأسر الالكتروني (The electron capture) مع وجوب تحقق الشرط:

$$ {}^{A}_{Z}M + m_e \succ {}^{A}_{Z-1}M \ldots\ldots \quad (5.3) $$

و يعبر عن الأسر الالكتروني كالتالي:

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

- نلاحظ أنه إذا تحقق شرط التفكك البوزتروني (**العلاقة 4.3**) نجد أن شرط الأسر الالكتروني (**العلاقة5.3**) يتحقق أيضا. لذلك فإن كل نواة نشطة بالنسبة لإصدار البوزيترون تكون في نفس الوقت نشطة بالنسبة للأسر الالكتروني و العكس غير صحيح. لأنه يمكن أن يتحقق الشرط (**العلاقة5.3**) دون أن يتحقق الشرط (**العلاقة4.3**)، عندئذ نجد أن النواة نشطة بالنسبة للأسر الالكتروني و لكنها غير نشطة بالنسبة لإصدار البوزيترونات.

2.(b طاقة جسيمات بيتا

ذكرنا أن طاقة جسيمات α الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة أو قيم محدد للطاقة. و أما بالنسبة لجسيمات β الصادرة عن نفس النظير فإن طاقتها يمكن أن تتخذ قيم مختلفة للطاقة، اعتبارا من الصفر و حتى قيمة قصوى معينة لكل نظير. و يرجع السبب في ذلك إلى أنه بالإضافة للجسيم β الصادر عن النظير المشع يصدر جسيم آخر هو النيوترينو المضاد أو النيوترينو(neutrino) – υ ، و النيوترينو عبارة عن جسيم متعادل الشحنة و كتلة السكون له مساوية للصفر (أي أن $m_\upsilon=0$) و على هذا الأساس يمكن التعبير عن الأنواع الثلاثة للتفكك كالتالي:

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + \beta^{-} + \upsilon' $$

$$ {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} + \upsilon $$

و يعرف υ' باسم النيوترينو المضاد (anti - neutrino). وعموما يعرف الجسيم المضاد على أنه هو الجسيم الذي إذا تلاقى مع جسيمه عند تحركهما بسرعة محدودة نسبيا فإنهما يفنيان معا ككتلة مادية و ينتج عن هذا الفناء طاقة في شكل إشعاعات كهرومغناطيسية (إشعاعات غاما أو أشعة سينية).

مع العلم أن طاقة التفكك الالكتروني تكون ثابتة، ويمكن تحديدها من العلاقة:

$$ E=[{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z+1}M + m_e)]C^2 .....(6.3) $$

$$ E= 931.5[{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z+1}M + m_e)] \text{ MeV}.....(7.3) $$

و في حالة التفكك البوزيتروني تكون الطاقة الناتجة عن التفكك ثابتة كذلك وهي:

$$ E=[{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z-1}M + m_e)]C^2 .....(8.3) $$

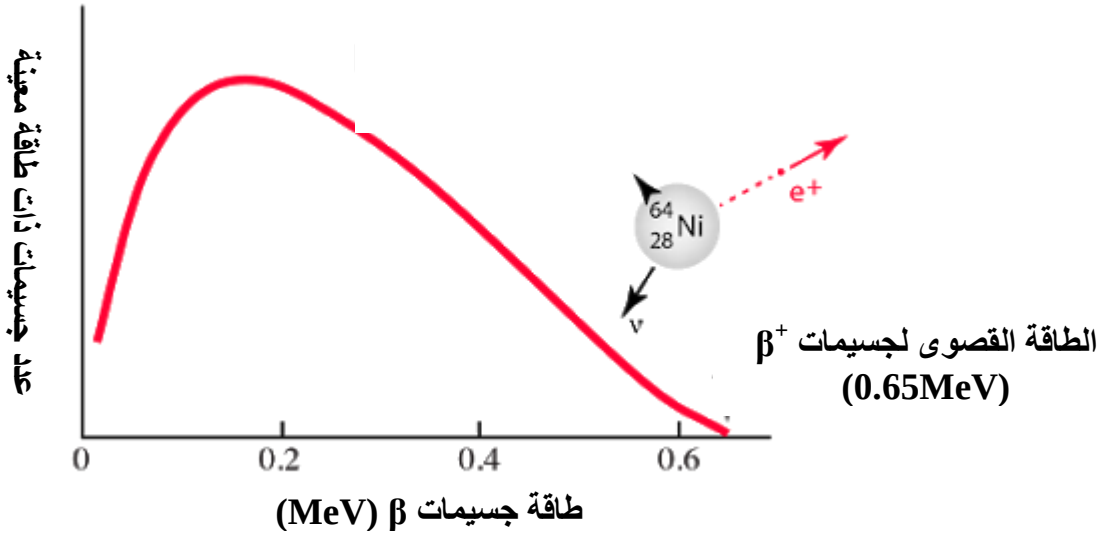
$$ E= 931.5[{}^{A}_{Z}M - ({}^{A}_{Z-1}M + m_e)] \text{ MeV}.....(9.3) $$

و تتوزع طاقة التفكك في كلتا الحالتين بين الجسيمين الناتجين و هما الالكترون و النيوترينو المضاد في حالة التفكك الالكتروني، أو بين البوزيترون و النيوترينو في حالة التفكك البوزيتروني. و في حالة الأسر الالكتروني تكون الطاقة الناتجة عن التفكك ثابتة أيضا لنظير معين و هي:

$$E=[(m_e + {}^{A}_{Z}M) - {}^{A}_{Z-1}M]C^2 \ldots..(10.3)$$

$$E= 931.5\,[(m_e + {}^{A}_{Z}M) - {}^{A}_{Z-1}M]\ \text{MeV} \ldots..(11.3)$$

و تجدر الاشارة هنا إلى أن توزيع الطاقة بين الجسيمين الناتجين عن كل تفكك غير معين بنسبة محددة. فقد تكون طاقة النيوترينو المضاد قريبة جدا من الصفر و بذلك يحمل الالكترون (في التفكك الالكتروني) كل طاقة التفكك و تعرف طاقة الالكترون عندئذ بالطاقة القصوى للتفكك أو طاقة نقطة النهاية (end point). و قد يحمل النيوترينو المضاد الجزء الأكبر من طاقة التفكك فتكون طاقة الالكترون قريبة من الصفر. و عند قياس طاقة الالكترونات الصادرة عن عدد كبير جدا من النوى المشعة و رسم العلاقة بين عدد الالكترونات ذات الطاقة المعينة وبين طاقتها يمكن أن نتحصل على طيف جسيمات بيتا مثلا الممثل في **الشكل 3.3**:



الشكل 3.3: يوضح طيف جسيمات β للتفكك

$${}^{63}_{28}Ni \rightarrow {}^{63}_{29}Cu + \beta^- + \upsilon$$

و يعرف هذا المنحنى باسم طيف أشعة بيتا و هو يوضح أن طاقة جسيمات β الصادرة عن نظير معين يمكن أن تأخذ أي قيمة، ابتداء من الصفر و حتى أقصى قيمة وهي طاقة التفكك أو ما يعرف باسم نقطة النهاية (**الشكل3.3**). لذا فإنه يقال أن طيف جسيمات β عبارة عن طيف مستمر على عكس طيف جسيمات α الذي يتخذ قيمة واحدة أو قيم محددة (**الشكل 1.3**).

c) إشعاعات غاما Gamma radiation

في أغلب الأحيان تكون النوى الوليدة الناتجة عن تفكك α أو تفكك β (أو النوى الناتجة عن أية عملية نووية أخرى كالتفاعلات النووية) في حالة مثارة أو متهيجة (excited state). و يعني هذا أن طاقة مكونات النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة الأرضية (المستقرة)، أي أن كتلة النواة في الحالة المثارة تكون أكبر من كتلتها في الحالة الأرضية (ground state). عندئذ تنتقل النواة إلى الحالة الأرضية بالتخلص من طاقة الاثارة، و ذلك بإصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات غاما. كما يمكن أن تتخلص النواة من طاقة الاثارة بتجميع هذه الطاقة الزائدة و تركيزها على أحد الالكترونات المدارية (خاصة المدار K لقربه من النواة) فينطلق هذا الالكترون تاركا الذرة وحاملا معه قيمة محددة من الطاقة. وتعرف باسم التحول الداخلي (internal conversion).

و تجدر الاشارة إلى أن إزالة الاثارة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية (إشعاعات غاما) يمكن أن تحدث بطريقتين:

- الأولى بانتقال النواة من الحالة المثارة مباشرة إلى الحالة الأرضية.
- و ثانيا بحدوث الانتقال على مراحل كأن تنتقل النواة من الحالة المثارة إلى حالة أقل ... و هكذا، إلى أن تصل النواة إلى الحالة الأرضية.

مثال

عند حدوث تفكك β لنواة السيزيوم 137 إلى الباريوم 137 وفقا للتفكك الالكتروني التالي:

$$^{137}_{55}Cs_{82} \rightarrow {}^{137}_{56}Ba_{81} + \beta^{-} + \nu'$$

يمكن ملاحظة حالتين:

- الحالة الأولى: 94.6% توجد في الحالة المثارة $^{137}_{56}Ba^{*}_{81}$ وفقا للتفكك الالكتروني التالي:

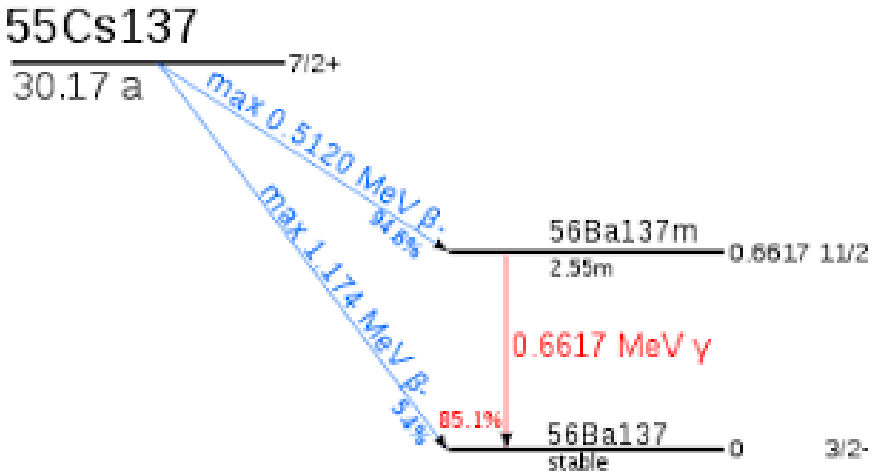
$$^{137}_{55}Cs_{82} \rightarrow {}^{137}_{56}Ba^{*}_{81} + \beta^{-} + \nu'$$

و العلامة * تعني أن نواة الباريوم في حالة مثارة، وترجع هذه الطاقة إلى أن طاقة التفكك الكلية المفترضة E= 1.1737 MeV لكن طاقة جسيمات β^{-} الناتجة في الحالة القصوى E_{β^-}= 0.512 MeV. و هذا يعني أن الطاقة الناتجة (E_{β^-}= 0.512 MeV) سوف تتوزع على الالكترون و النيوترينو، و الفرق في الطاقة بين طاقة التفكك الكلية و الطاقة القصوى لجسيمات β^{-} الناتجة (E= 0.6617 MeV)، هو الذي سوف يؤدي إلى أن النواة الناتجة مثارة و أنها سوف تتخلص من هذا الفائض في الطاقة بإشعاع γ (إطلاق فوتون غاما) كما هو موضح في **الشكل 4.3**.

- الحالة الثانية: 5.4% من الحالات الناتجة توجد في حالة مستقرة (الحالة الأرضية) ونكتب:

$$^{137}_{55}Cs_{82} \rightarrow {}^{137}_{56}Ba_{81} + \beta^- + \nu'$$

مع العلم أن طاقة التفكك الكلية E= 1.174 MeV و طاقة جسيمات β^- الناتجة في الحالة القصوى لهذه الحالة هي $E_{\beta^-}(max)$= 1.1737 MeV.



الشكل 4.3: مخطط مستويات الطاقة لنواة الباريوم

c).1 التحول الداخلي (the internal conversion)

سبق الاشارة الى انه في بعض الاحيان ينتج عن اضمحلال جاما انطلاق احد الكترونات القشرات K اوL او M الذرية دون ان يخرج فوتون جاما المنبعث من النواة خارج الذرة، في هذه الحالة لا يسجل فوتون جاما كناتج لاضمحلال جاما وانما يسجل الكترون بطاقة محددة تساوي طاقة فوتون جاما مطروحا منها طاقة ترابط الإلكترون في القشرة المحددة.

وتعرف الالكترونات المنطلقة من القشرة K اوL او M نتيجة لاضمحلال جاما بإلكترونات التحول الداخلي وتظهر هذه الالكترونات في صورة خط طيفي رفيع محدد الطاقة للإلكترونات فوق طيف الالكترونات الناتجة عن التفكك بيتا.

مثال

يتفكك الذهب 198 من خلال تفكك β السالب الى الزئبق 198 في حالته المثارة الاولى، بصفة اساسية، بطاقة اثارة 412 KeV وعند اضمحلال الزئبق 198 الى الحالة الارضية ينطلق فوتون جاما حاملا فرق الطاقة وهو 412 KeV و يمكن ان يتفاعل هذا الفوتون مع أحد الالكترونات المدارية القريبة مثل الكترونات القشرة K اوL او M فيمنحه كل طاقته فيستهلك الالكترون جزءا من هذه الطاقة على فك ترابطه بالنواة وينطلق حاملا الجزء الباقي من الطاقة و تعرف العملية عندئذ بالأثر الكهروضوئي الداخلي اي في نفس الذرة التي انطلق منها الفوتون و نكتب:

$$E_e = E_\gamma - B_e$$

حيث:

E_e طاقة الإلكترون المنطلق.

E_γ طاقة فوتون غاما.

B_e طاقة الربط للإلكترون.

في هذه الحالة طاقة ربط إلكترون القشرة K هي 83 KeV فتكون طاقة الكترونات التحول من هذه النواة هي:

$$E_e = 412 - 83 = 329 \text{ KeV}$$

وذلك بالنسبة للإلكترونات المنطلقة من القشرة K واما عند انطلاق الكترونات من القشرة L (وهو الاحتمال الاصغر)، وحيث ان طاقة ترابط الالكترون في هذه القشرة تبلغ حوالي 8.9 KeV، تكون طاقة الكترونات التحول الداخلي من القشرة L هي:

$$E_e = 412 - 8.9 = 403.1 \text{ KeV}$$

وهذان الخطان من الالكترونات وحيدة الطاقة يظهران عادة فوق الطيف المستمر لجسيمات بيتا. وعند انطلاق احد الكتروني القشرة k (او اي من الالكترونات الثمانية للقشرة L فانه يترك مكانه فارغ ويقال عندئذ فجوة في القشرة K أوL او حتى M وبالتالي تبدأ الالكترونات الموجودة في المدارات الابعد من النواة بشغل هذه الفجوة ويحدث نتيجة لذلك انطلاق اشعة سينية تحمل فرق الطاقة بين المستويين كما سيرد لاحقا.

ويعرف الاحتمال النسبي لحدوث التحول الداخلي من القشرةK بـ α_k على انه نسبة عدد الالكترونات المنطلقة من القشرة k الى عدد فوتونات جاما المنبعثة من نفس العينة من هذه النوى، وعموما تتغير قيمة معامل التحول الداخلي α_K بين 0 و 1 و تزيد قيمته عموما بزيادة العدد الذري Z للنواة، وتحدد معاملات التحول الداخلي بالنسبة للقشرات M و L بنفس الاسلوب الا ان هذه المعاملات تقل كثيرا بالنسبة لمعاملات القشرة k .

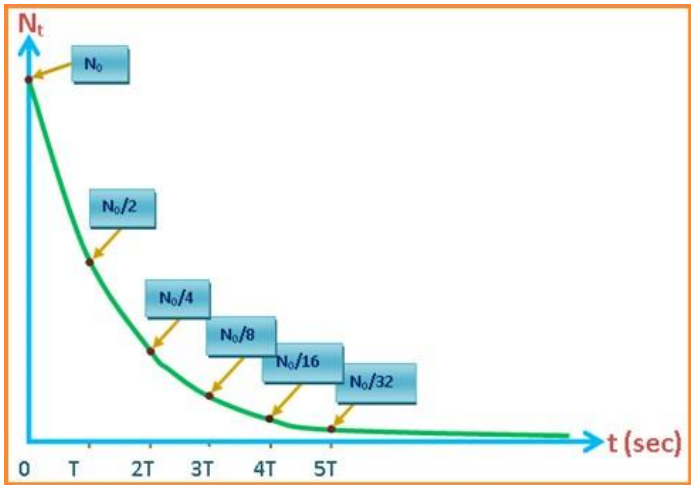
وهكذا نجد ان هناك العديد من النظائر التي تتميز بنشاط اشعاعي طبيعي، وتتفكك هذه النظائر مصدرة اما جسيمات الفا او بيتا، وقد يتبع ذلك مباشرة او خلال فترة زمنية معينة انطلاق اشعاعات جاما نتيجة اضمحلال النويات الوليدة من الحالات المثارة الى حالات اقل اثارة او الى الحالة الارضية.

ملاحظة

يمكن ان تنطلق طاقة الاثارة من النواة لاحد الالكترونات مباشرة دون انطلاق فوتون جاما بشرط ان يكون هذا الالكترون قريبا من النواة اي من الكترونات التى تنتمي للقشرة K اساسا، واحيانا للقشرة L واحيانا M، ويعرف اضمحلال النواة عندئذ بانه اضمحلال جاما من خلال الكترونات التحول الداخلي، ولا تختلف طاقة هذه الالكترونات الناتجة عن التحول الداخلي عن طاقة الكترونات الاثر الكهروضوئي للفوتون المنطلق من النواة، لذلك لا يسجل فصل الكترونات التحول الداخلي عن الكترونات الاثر الكهروضوئي الداخلي.

3- قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law

في سنة 1900 اكتشف العالم رزرفورد أن معدل إصدار الجسيمات من مادة مشعة غير ثابت مع الزمن ولكنه يتناقص أسياً (أنظر الشكل5.3).



الشكل 5.3: يوضح خاصية الارتباط الأسي بالزمن المميزة لكل النشاطات الإشعاعية

وتشير خاصية الارتباط الأسي بالزمن والمميزة لكل النشاطات الإشعاعية إلى أن التفكك الإشعاعي هو عملية إحصائية، وأن احتمال التفكك الإشعاعي من أجل كل نواة خلال وحدة الزمن عبارة عن مقدار ثابت لا يتعلق بالشروط الفيزيائية والكيميائية للعنصر المعتبر، ويتحدد ذلك بمعامل يسمى ثابت التفكك ويرمز له بالرمز λ ويقدر بإحدى الوحدات التالية: s^{-1} , min^{-1} , hr^{-1} , D^{-1} , yr^{-1} و تجدر الإشارة إلى أن ثابت التفكك λ يختلف من عنصر مشع لآخر وهو يحدد سرعة التفكك. و يمكن إيجاد القانون الذي تتفكك بموجبه الأنوية إنطلاقا من النظرية الاحصائية.

a) إثبات قانون التفكك الاشعاعي The radioactive decay law

نفرض أن λ هو عبارة عن احتمال تفكك نواة معينة في ثانية واحدة، و أن هذا الاحتمال صغير جدا، أي أن:

$$0 \prec \lambda \prec\prec 1$$

معنى هذا ان احتمال تفكك النواة خلال زمن قصير مقداره dt هو λdt . فإذا كان عدد النوى النشطة التي لم تتفكك بعد هو N فهذا يعني أن احتمال التفكك لكل هذا العدد من النوى خلال الزمن dt هو $N \lambda dt$.
أي أن عدد النوى التي يمكن أن تتفكك خلال هذا الزمن هو:

$$dN = -N \lambda dt \ldots..(12.3)$$

و تعني الاشارة السالبة أن عدد النوى N المتبقي دون تفكك يقل كلما زاد الزمن (لاحظ **الشكل5.3**). و بقسمة طرفي هذه المعادلة الأخيرة على العدد N و المكاملة مع اعتبار أن عدد النوى النشطة عند الزمن t=0 هو N_0 نجد أن:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad .....(13.3)$$

حيث N(t) هو عدد النوى النشطة المتبقية دون تفكك عند اللحظة t و λ ثابت التفكك أو الاضمحلال. وتعرف هذه العلاقة بقانون التفكك الاشعاعي.

4- عمر النصف و المتوسط العمري The half-life and mean-life

عمر النصف أو النصف العمري هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها الشدة الاشعاعية للعينة (النظير) إلى النصف. و بعبارة أخرى عمر النصف هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد نوى العينة. و يرمز للعمر النصفي عموما بالرمز $t_{1/2}$ (أو T) و منه يمكن أن نكتب:

$t = t_{\frac{1}{2}} \Rightarrow N(t) = \frac{N_0}{2}$ و بالتعويض في علاقة عدد النوى النشطة المتبقية (**العلاقة 13.3**) نجد:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}}$$

ومنه

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad .....(14.3)$$

و يقدر عمر النصف (الدور) بإحدى الوحدات التالية: s أو min أو hr أو D أو yr.

أما متوسط عمر العينة المشعة فيرمز له بـ τ و هو عبارة عن مجموع أعمار جميع الأنوية مقسوما على عددها و يمكن تحديده من خلال العلاقة:

$$\tau = \frac{\int_0^\infty t\, N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda}\int_0^\infty t\, e^{-\lambda t}$$

$$\rightarrow \tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{0.693} \quad .....(15.3)$$

و هكذا نجد أن كل من λ و τ و $t_{1/2}$ مرتبطة ببعضها بعلاقات بسيطة و بمعرفة احداها يمكن تحديد الباقي.

5- الشدة (الفعالية) الاشعاعية للعينة The sample activity

في معظم الأحيان يكون المطلوب هو معرفة عدد النوى التي تتفكك في الثانية A(t)، و ليس عدد النوى المتبقية دون تفكك و المحدد **بالعلاقة 13.3**. و يعرف عدد النوى التي تتفكك في الثانية الواحدة A(t) بالشدة الاشعاعية للعينة أو نشاطها الاشعاعي (Activity of a Sample). و يكون ذلك بتفاضل (اشتقاق) **العلاقة13.3** بالنسبة للزمن، أي أن:

$$A(t) = \frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = \lambda N(t) \ldots\ldots (16.3)$$

و تعرف $A_0 = \lambda N_0$ بالشدة الاشعاعية عند اللحظة الزمنية $t = 0$، لذا نكتب:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \ldots\ldots (17.3)$$

و تقدر الفعالية الإشعاعية بإحدى الوحدتين التاليتين: $decay \times s^{-1}$ أو بالبيكريل ويرمز لها بالرمز Bq حيث $1\ Bq = 1\ decay \times s^{-1}$ كما يمكن أن تقدر بالكوري ويرمز لها بالرمز Ci

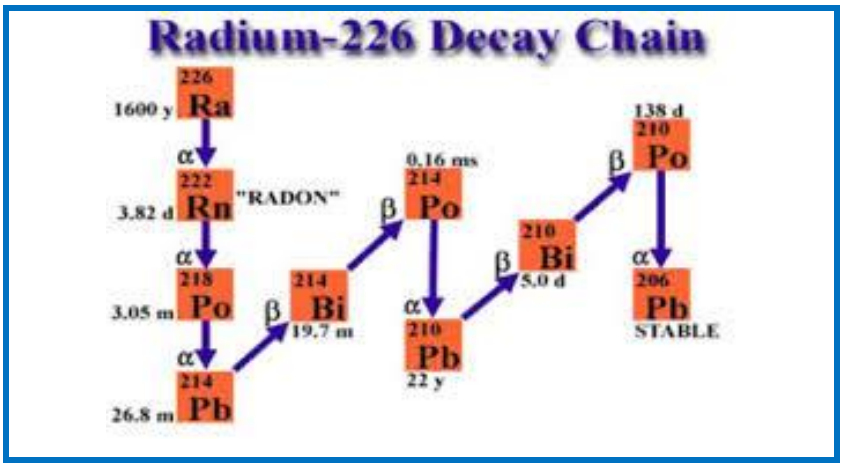
حيث: $1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$.

6- التفكك الاشعاعي المتتابع The successive radioactive decay

عند تفكك النواة الأم إلى نواة وليدة فإنه قد تكون النواة الوليدة نشطة إشعاعيا. عندئذ تتفكك النواة الوليدة إلى نواة تعرف باسم الحفيدة (grand-daghter). و هكذا تستمر العملية إلى أن تصل في النهاية إلى نواة مستقرة، وتعرف هذه العملية بالتفكك الاشعاعي المتتابع.

مثال

تتفكك نواة الراديوم 226 (عمرها النصفي $t_{1/2}=1.6\ 10^3\ yr^{-1}$) إلى الرادون 222، و تتفكك هذه الأخيرة و التي عمرها النصفي $t_{1/2}=3.28\ D^{-1}$ إلى نواة البولونيوم218، التي تعتبر هي الأخرى مشعة و عمرها النصفي $t_{1/2}=3.05\ min^{-1}$ و هكذا تستمر العملية إلى أن تصل في النهاية إلى نواة الرصاص 206 المستقرة (لاحظ **الشكل 6.3**).



الشكل 6.3: يوضح سلسلة التفكك الاشعاعي للراديوم 226

إن الغرض من دراسة التفكك المتتابع هو معرفة عدد النوى لكل عضو من أعضاء السلسلة الاشعاعية المعرفة مثلا من الشكل:

$$B_1 \xrightarrow{\lambda_1 \cdot T1} B_2 \xrightarrow{\lambda_2 \cdot T_2} B_3$$

فإذا رمزنا بـ N_1 و λ_1 لعدد النوى الأم المتبقية عند الزمن t و ثابت التفكك لها على التوالي. و رمزنا بـ N_2 و λ_2 لعدد النوى الوليدة المتبقية و النشطة بدورها عند الزمن t و ثابت التفكك لها على التوالي. و رمزنا بـ N_3 لعدد النوى الحفيدة عند الزمن t و اعتبرناها مستقرة.

و إذ ا فرضنا أنه عند t=0 كان عدد نوى كل جيل هو: $N_1=N_{1.0}$ و $N_2=0$ و $N_3=0$. أي أنه عند تحضير العينة كانت كلها من ذرات النويدة الأم.

	$B_1 \xrightarrow{\lambda_1 \cdot T1}$	$B_2 \xrightarrow{\lambda_2 \cdot T_2}$	B_3
t=0	$N_{1.0}$	0	0
t	N_1	N_2	N_3

و من خلال ما تقدم من دراسة و باستخدام **العلاقة 16.3** فإنه يمكن التعبير عن العملية ككل كما يلي:

- معدل تغير عدد الأنوية B_1 المتفككة إلى B_2 خلال وحدة الزمن dt هو:

$$A_1 = \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \cdot \cdots\cdots (18.3)$$

- معدل تغير عدد الأنوية B_2 المتفككة إلى B_3 خلال وحدة الزمن dt هو:

$$A_2 = \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 .....(19.3)$$

لأن العينة B_2 يؤثر فيها عاملان الأول خاص بالتكوين (التزايد) و الثاني يمثل الاضمحلال (التناقص).

- معدل تكون الأنوية الوليدة B_3 نتيجة تفكك B_2 خلال وحدة الزمن dt هو:

$$A_3 = \frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 .....(20.3)$$

و بحل مجموعة **المعادلات 18.3 و 19.3 و 20.3** فإنه يمكن تحديد عدد ذرات كل نوع من الأعضاء الثلاثة للسلسلة الاشعاعية كدالة مع الزمن. و هي التي يمكن كتابتها على شكل جملة معادلات تعبر عن السلسلة الاشعاعية كما يلي:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \\ A_2 = \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\ A_3 = \frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \end{cases}$$

و بمكاملة كل معادلة من المعادلات السابقة يمكن تحديد عدد كل عضو من الأعضاء الثلاثة للسلسلة الاشعاعية كدالة في الزمن:

$$(18.3) \Rightarrow \frac{dN_1}{N_1} = -\lambda_1 dt \rightarrow \int_{N_{1.0}}^{N_1} \frac{dN_1}{N_1} = -\lambda_1 \int_0^t dt$$

$$\rightarrow \ln \frac{N_1}{N_{1.0}} = -\lambda_1 t$$

$$\rightarrow N_1 = N_{1.0} e^{-\lambda t} .....(21.3)$$

و هو عدد ذرات النوع B_1 كدالة في الزمن t.

$$(19.3) \Rightarrow \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\rightarrow \frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 .....(22.3)$$

و هي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى بطرف ثان حلها من الشكل:

$$N_2 = c(t)\, e^{-\int \lambda_2 dt} = c(t)\, e^{-\lambda_2 t} .....(23.3)$$

بالاشتقاق نجد:

$$N_2' = c'(t) e^{-\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}\, c(t) .....(24.3)$$

بالتعويض في (**22.3**) نجد:

$$c'(t) = \lambda_1 N_1 e^{+\lambda_2 t} .....(25.3)$$

و منه:

$$c(t) = \int \lambda_1 N_1 e^{+\lambda_2 t}\, dt \rightarrow c(t) = \lambda_1 \int N_{1.0} e^{-\lambda 1 t}\, e^{+\lambda_2 t}\, dt$$

$$\rightarrow c(t) = \lambda_1 N_{1.0} \int e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}\, dt$$

$$\rightarrow c(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1.0} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C .....(26.3)$$

بالتعويض بالعبارة **26.3** في **العبارة 25.3** نجد:

$$N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1.0} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C\right) e^{-\lambda_2 t}$$

$$\rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1.0} e^{(-\lambda_1)t} + C\, e^{-\lambda_2 t} .....(27.3)$$

باستخدام الشروط الابتدائية: $t=0$، $N_1=N_{1.0}$، $N_2=0$ نجد:

$$\rightarrow C = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 .....(28.3)$$

بالتعويض في **العبارة 27.3** نجد:

$$\rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1.0}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).....(29.3)$$

هذه العلاقة صحيحة إذا كان $N_{2.0}=0$ عند لحظة الصفر، أما إذا اختلف عن الصفر فيصبح عدد الذرات الوليدة N_2:

$$\rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1.0}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{2.0} e^{-\lambda_2 t} .....(30.3)$$

بنفس الطريقة يمكن كتابة عدد الذرات الحفيدة N_3 من الشكل:

$$\rightarrow N_3 = N_{3.0} + N_{2.0}\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_{1.0}\left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)e^{-\lambda_2 t} - N_{1.0}\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}e^{-\lambda_1 t} .....(31.3)$$

يمكن استنتاج عدد الذرات الحفيدة من خلال ملاحظة مخطط سلسلة التفكك و كتابته من الشكل:

$$N_3 = N_{1.0} - (N_1 + N_2).....(32.3)$$

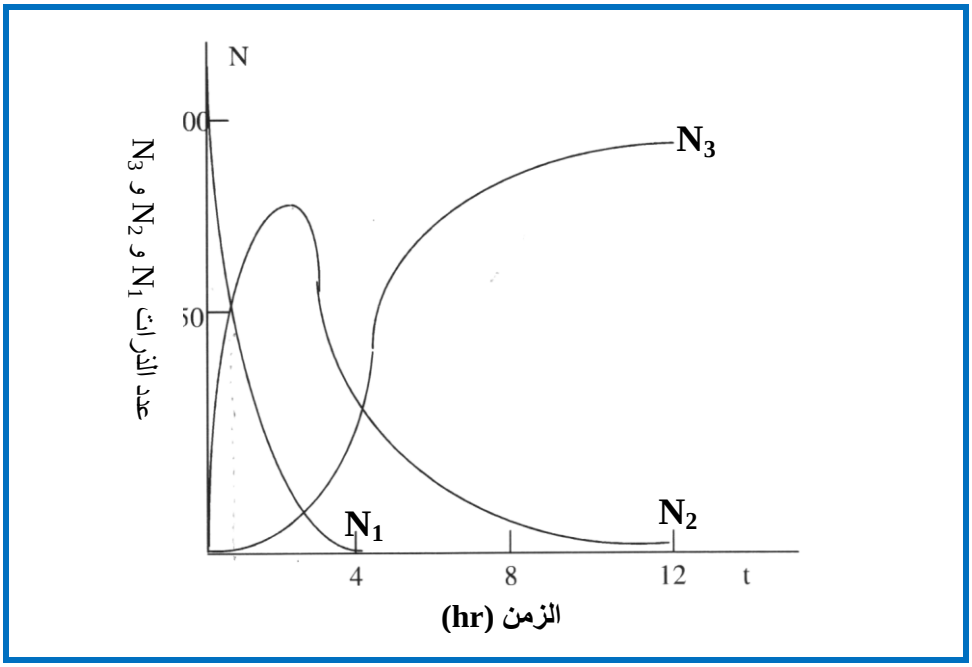
مثال

يوضح **الشكل 7.3** كيفية تغير كل من N_1 و N_2 و N_3 كدالة لزمن التفكك المتتابع لنظير الروثينيوم 105، حيث يتفكك إلى الروديوم 105، و هذا الأخير يتفكك بدوره إلى البلاديوم 105 المستقر.

$$^{105}_{44}Ru \xrightarrow{\beta^-\left(t_{1/2}=4.5h\right)} {}^{105}_{45}Rh \xrightarrow{\beta^-\left(t_{1/2}=35h\right)} {}^{105}_{46}Pd$$

و يعبر المحور العمودي عن عدد النوى الأم و الوليدة والحفيدة عندما يكون عدد النوى الابتدائية $N_{1.0}=100$ و $N_{2.0}=N_{3.0}=0$، في حين يعبر المحور الأفقي عن الزمن بالساعة، و يلاحظ أن:

- N_1 يتناقص أسيا طبقا لقانون التفكك الاشعاعي.
- N_2 يكون صفرا عندما $t=0$ ثم يتزايدا وفقا **للعلاقة 30.3** إلى أن يصل إلى أقصى قيمة عند زمن يساوي تقريبا ثلاث أضعاف العمر النصفي ثم ينخفض من جديد.
- النوى الحفيدة N_3 تكون أولا مساوية للصفر ثم تزداد ببطء كبير و لا تقترب من نهايتها أي الوصول إلى 100% إلا بعد انقضاء زمن طويل (حوالي خمس أضعاف العمر النصفي للنظير الوليد).

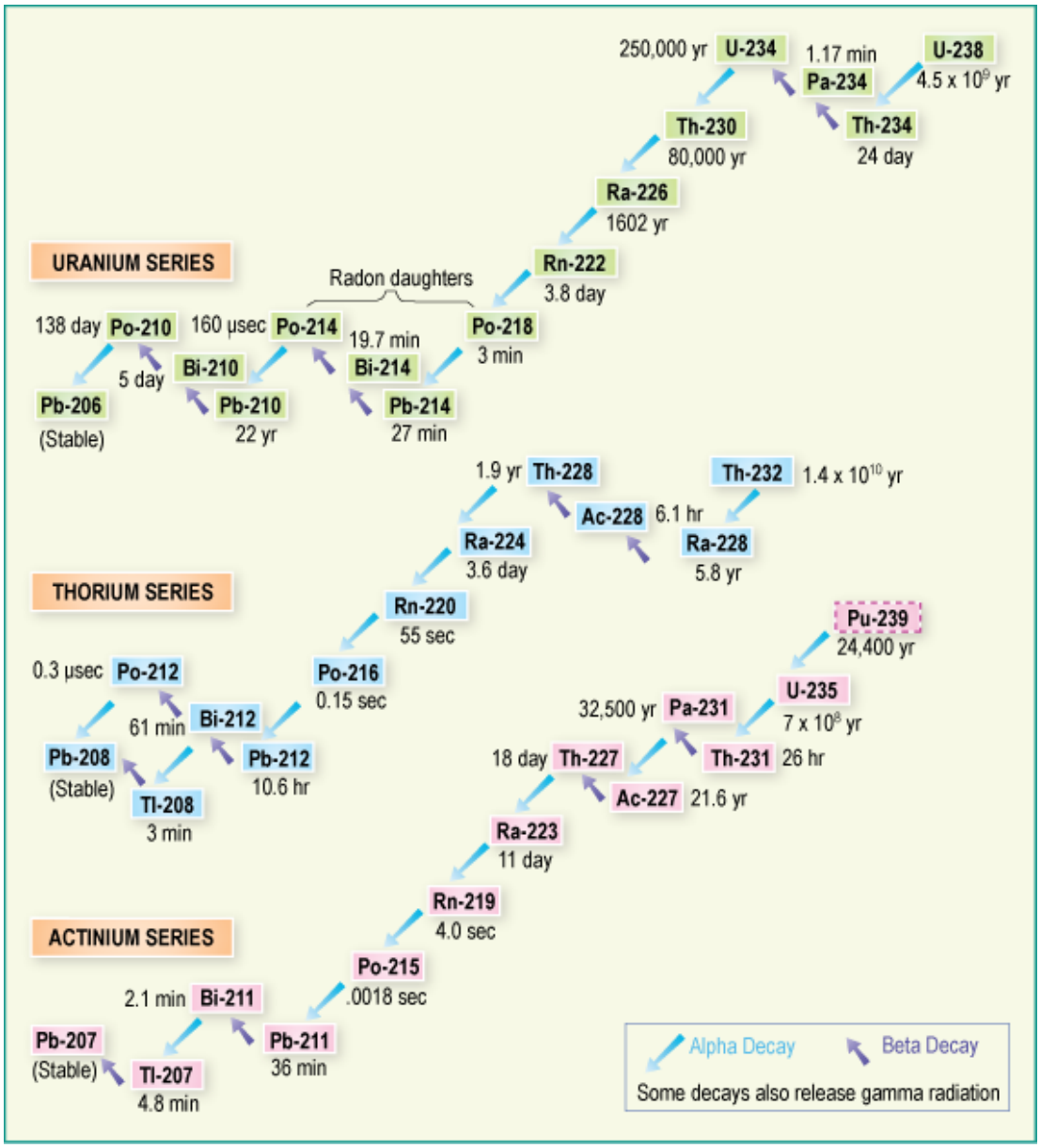


الشكل 7.3 تغير عدد النوى الأم و الوليدة و الحفيدة مع الزمن t لنظير الروثينيوم 105

ملاحظة

تتميز نوى جميع النظائر ذات العدد الذري الأكبر من 82 بأنها جميعا غير مستقرة إشعاعيا، و ذلك بسبب زيادة عدد البروتونات في النواة مما يجعل قوى التنافر الكهروستاتيكية كبيرة. و يؤدي هذا إلى تفكك بعض تلك النظائر من خلال تفكك ألفا و إصدار جسيمات ألفا. و نتيجة لإصدار هذه الجسيمات تزداد نسبة النيوترونات إلى البروتونات في النواة مما يؤدي إلى استيفاء شروط تفكك بيتا في بعض هذه النوى الوليدة و حدوث هذا التفكك مع إصدار الالكترونات (جسيمات بيتا).

و توجد في الطبيعة ثلاث مجموعات تعرف بسلاسل الاشعاع الطبيعية و هي سلسلة الثوريوم ^{232}Th و سلسلة اليورانيوم-راديوم، وسلسلة الأكتينيوم. و كانت هناك مجموعة رابعة هي سلسلة النبتونيوم، و هي لم تعد توجد في الطبيعة الآن نظرا لأن العمر النصفي لأطول عناصرها عمرا هو $2.2\ 10^6$ yr، و هو أقل بكثير من العمر الافتراضي للأرض ($3\ 10^9$ yr). و يبين **الشكل8.3** هذه السلاسل و المعروفة أحيانا باسم سلاسل التفكك للعناصر الثقيلة.



الشكل 8.3: يوضح سلاسل التفكك للعناصر الثقيلة

2.2.3 النشاط الاشعاعي المستحث The induced radioactivity

بالإضافة للنظائر المشعة الطبيعية تمكن العلماء من انتاج ما يزيد عن ألف و ثلاث مائة نظير مشع اصطناعي. و هذا عن طريق قذف النظائر المستقرة بأنواع مختلفة من الجسيمات النووية مثل جسيمات α و البروتونات و النيوترونات و إشعاعات γ. و تستخدم لهذا الغرض المفاعلات النووية كمصدر للنيوترونات أو معجلات الأيونات كمصدر للجسيمات المشحونة مثل جسيمات α و البروتونات و حتى الـأيونات الثقيلة، و كذلك كمصدر لـإشعاعات γ.

1- التشعيع النيوتروني

أمثلة

- أولا: لإنتاج الكوبلت 60 و هو نظير نشط له استخدامات عديدة في مجالات مختلفة. تحضر عينة من الكوبلت 59 المستقرة، و يتم تشعيع هذه العينة بالنيوترونات داخل المفاعل النووي، و يصدر هذا التفاعل فوتون γ و هذا وفق التفاعل:

$$^{59}_{27}Co + n \rightarrow ^{60}_{27}Co + \gamma$$

و يعرف هذا التفاعل بتفاعل الأسر النيوتروني الاشعاعي (neutron radioactive capture) حيث يتم أسر النيوترون و تتكون بذلك نواة نظير جديد مع صدور فوتون جاما عن هذا الأسر في الحال. و الكوبلت 60 المتكون نظير مشع، وعمره النصفي 5.27 yr، و يتفكك إلى النيكل 60 مصدرا جسيم بيتا سالب أي:

$$^{59}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + \beta^{-} + \nu'$$

و يمكن في الوقت الحالي إنتاج المئات من النظائر المشعة الاصطناعية بهذا الأسلوب.

- ثانيا: يستخدم نفس الأسلوب للحصول على عناصر جديدة أثقل من اليورانيوم، و هي المعروفة باسم عناصر ما وراء اليورانيوم (Trans- uranium elements). و هذه العناصر غير موجودة في الطبيعة نظرا لأن عمرها النصفي صغير.

فعند وجود نظير اليورانيوم 238 داخل المفاعل النووي يمكن ان تأسر نواة اليورانيوم نيوترونا فيتكون بذلك اليورانيوم 239 و هو نظير مشع يتفكك مع إصدار جسيم β مكونا عنصر جديد و هو النبتونيوم239، و ذلك كالآتي:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U + \gamma$$

$$\Rightarrow ^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + \beta^{-} + \nu'$$

و النبتونيوم بدوره نظير مشع يتفكك مصدرا جسيم β و مكونا بذلك عنصرا جديدا هو البلوتونيوم:

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + \beta^{-} + \nu'$$

لذا ينتج نظير البلوتونيوم داخل المفاعلات بكميات كبيرة و يستخدم هذا النظير في انتاج الطاقة و في الأسلحة النووية.

ملاحظات

- يتم إنتاج العديد من العناصر الثقيلة الأميريشيوم $_{95}Am$ نسبة إلى أميركا و الكوريوم $_{96}Cm$ نسبة إلى السيدة ماري كوري و البركيليوم $_{97}Bk$ نسبة إلى مختبر بيركلي و الكالفورنيوم $_{98}Cf$ و الأينشتينيوم $_{99}Es$ و الفيرميوم نسبة للعالم فيرمي و غيرها بهذا الاسلوب نفسه.
- تجدر الاشارة إلى أن النظائر المصنعة باستخدام التشعيع النيوتروني تتفكك مصدرة الالكترونات و ذلك لزيادة نسبة النيوترونات على البروتونات.

2- التشعيع باستخدام الجسيمات المشحونة

و بالإضافة لاستخدام التشعيع النيوتروني في إنتاج النظائر المشعة فإنه يمكن إنتاج العديد من النظائر المشعة باستخدام الجسيمات المشحونة كالبروتونات و جسيمات α و الأيونات الثقيلة. و لهذا الغرض تعجل هذه الجسيمات المشحونة بواسطة المعجلات النووية حتى طاقات مناسبة ثم تقذف بها النظائر.

أمثلة

- عند قذف الفسفور 31 المستقر بالديوترون (نظير الهيدروجين) يتكون الفسفور 32 المشع و ينطلق البروتون كالتالي:

$$^{31}_{15}P + ^{2}_{1}d \rightarrow ^{32}_{15}P + ^{1}_{1}p$$

- عند قذف النيتروجين 14 المستقر بجسيمات α يتكون الفلور 17 المشع و ينطلق نيوترون كالتالي:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{9}F + ^{1}_{0}n$$

- عند قذف اليورانيوم 238 بأيون ثقيل مثل أيون الأكسيجين يتكون نظير الفرميوم 250 و تخرج أربعة نيوترونات كالتالي:

$$^{238}_{92}U + ^{16}_{8}O \rightarrow ^{250}_{100}Fm + 4^{1}_{0}n$$

و عموما تستخدم تفاعلات الأيونات الثقيلة بكثرة للتحصل على عناصر ما وراء اليورانيوم.

3- المقطع العرضي (cross-section)

تجدر الاشارة إلى أن إنتاج النظائر المشعة بقذفها بالنيوترونات أو الجسيمات المشحونة يتطلب وجود تيار عال من هذه الجسيمات نظرا لأن احتمال حدوث التفاعل يكون عادة صغير جدا، لذلك يجب أن تكون كثافة التدفق النيوتروني في حدود 10^{12} إلى 10^{16} نيوترون لكل سم^2 في الثانية، أما المعجلات فكثافة التدفق تكون لها أقل. و يعرف احتمال حدوث التفاعل بالمقطع العرضي و هو عبارة عن احتمال حدوث التفاعل أو قذف جسيم واحد على نواة واحدة موجودة في مساحة مقدارها $1cm^2$. و وحدة المقطع العرضي هي البارن (barn)، و هي وحدة صغيرة تعادل مساحة مقدارها $10^{-24}cm^2$ و نكتب: $1\ barn=10^{-24}cm^2$

4- حساب عدد النوى المشعة المستحثة بالتشعيع

عند إنتاج النظائر المشعة بالتشعيع في مفاعل ما فإنه يجب معرفة الشدة الاشعاعية للعينة بعد التشعيع، فبعد بدء التشعيع يتراكم عدد النوى المستحثة و تبدأ بدورها في التفكك. و يكون هناك معدلان، الأول عبارة عن معدل تكوين النوى المشعة و الآخر هو معدل تفككها.

$$B_1 \xrightarrow{\lambda_1 \cdot T1} B_2 \xrightarrow{\lambda_2 \cdot T_2} B_3$$

$$t=0 \quad N_{10} \xrightarrow{\lambda_1 \cdot T1} 0 \xrightarrow{\lambda_2 \cdot T_2} 0$$

$$t=t \quad N_1 \xrightarrow{\lambda_1 \cdot T1} N_2 \xrightarrow{\lambda_2 \cdot T_2} N_3$$

و طبقا **للمعادلة13.3** فإن تغير النوى المستحثة هو:

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

حيث:

$\lambda_1 N_1$ هو معدل التكوين عن طريق التشعيع

و $\lambda_2 N_2$ هو معدل التفكك.

و لأن تكوين الذرات المشعة لم ينتج عن تفكك الذرة الام و لكن نتج عن تشعيع الذرات المستقرة فإنه يجب التعبير عن $\lambda_1 N_1$ بأسلوب آخر. و من المعروف أن عدد الذرات النشطة N التي تتكون في الثانية سوف تتناسب تناسبا طرديا مع عدد الذرات المستقرة في العينة $N_{1.0}$ و مع عدد النيوترونات n (عدد النيوترونات في وحدة الحجم) ومقدار المقطع العرضي σ للأسر النيوتروني و كذلك مع سرعة النيوترونات V_n، أي أن:

$$\lambda_1 N_1 = n V_n \sigma N_{1.0} .....(33.3)$$

و بالتعويض عن $\lambda_1 N_1$ في **العلاقة 19.3** نجد أن:

$$\frac{dN_2}{dt} = n V_n \sigma N_{1.0} - \lambda_2 N_2 .....(34.3)$$

و بحل هذه المعادلة التفاضلية بالنسبة للعدد N_2 نجد أن:

$$N_2 = \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \frac{n V_n \sigma N_{1.0}}{\lambda_2} .....(35.3)$$

ملاحظة

يعرف الحد $\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$ باسم معامل نمو العينة.

- فإذا كان زمن التشعيع أصغر من العمر النصفي $t_{1/2}$ نجد أن: $\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \approx \lambda_2 t$

ومنه عدد النوى المشعة:

$$N_2 = n V_n \sigma N_{1.0} t .....(36.3)$$

- إذا استمر التشعيع لمدة طويلة (ثلاث أضعاف العمر النصفي فأكثر) فإننا نجد أن: $\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \approx 1$

و منه:

$$N_2 = \frac{n V_n \sigma N_{1.0}}{\lambda_2} .....(37.3)$$

أي أن عدد النوى المشعة في العينة يصبح ثابتا و لا يزداد العدد مهما زاد التشعيع و يقال عندئذ أن العينة قد وصلت إلى حالة التشبع. و بمعنى آخر لا جدوى بعد ذلك من استمرار التشعيع لأن عدد النوى المستحثة يكون مساويا تماما لعدد النوى المتفككة. و لزيادة الشدة الاشعاعية للعينة يجب زيادة عدد الذرات المستقرة أو$N_{1.0}$ أو زيادة عدد النيوترونات n.

5- وحدات قياس النشاط الاشعاعي Units of radioactivity

كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الاشعاعية هي الكوري Courie (Ci) و أجزاؤه و هي الملي كوري (mCi) و الميكروكوري (µCi) و قد عرف الكوري تاريخيا بأنه الشدة الاشعاعية (عدد التفككات في الثانية الواحدة) لغرام واحد من الراديوم226. و بعد معايرة الشدة الاشعاعية لغرام من الراديوم226 وجد أنها مساوية لـ $3.7\ 10^{10}$ تفكك في الثانية. بذلك أصبح تعريف الكوري و أجزائه من الشكل:

$1\ Ci = 3.7\ 10^{10}$ تفكك في الثانية

$1\ mCi = 3.7\ 10^{7}$ تفكك في الثانية

$1\ \mu Ci = 3.7\ 10^{4}$ تفكك في الثانية

و الوحدة المعيارية الدولية الآن للشدة الاشعاعية هي البكرل (Becquerel). و البكرل عبارة عن تفكك واحد في الثانية. و بمقارنة البكرل بالكوري نجد أنه وحدة صغيرة جدا لذا تستخدم مضاعفات البكرل و قيمها كالآتي:

$1\ Bq = 1$ تفكك في الثانية

$1\ K\ Bq = 10^{3}$ تفكك في الثانية

$1\ M\ Bq = 10^{6}$ تفكك في الثانية

$1\ G\ Bq = 10^{9}$ تفكك في الثانية

$1\ T\ Bq = 10^{12}$ تفكك في الثانية

و هناك وحدة ثالثة للنشاط الإشعاعي و لكنها نادرة الاستخدام و هي راذرفورد Rutherford (rd) و هي عبارة عن 10^{6} تفكك في الثانية.

3.3 تمارين مقترحة

-1

إذا علمت أن البولونيوم $^{210}_{84}Po$ يتفكك و أن عدد ذراته (ذرات البولونيوم المشعة) عند تحضير العينة (t=0) هو N_0 . و أنه عند لحظة زمنية t كيفية نعرف عدد النوى $\overline{N}$ النوى المتبقية و أن هذه القياسات مسجلة في الجدول التالي:

الزمن t (اليوم)	0	40	80	120	160	200	240
$\frac{\overline{N}}{N_0}$	1	0.82	0.67	0.55	0.45	0.37	0.30

- بالاستعانة برسم بياني أحسب λ ثابت الاضمحلال و T ($t_{1/2}$) العمر النصفي لعينة البولونيوم.
- خلال أي زمن t كتلة العينة المتبقية تصبح عشر الكتلة الابتدائية.

-2

-I لدينا عينة من السيزيوم ^{134}Cs عمرها النصفي T=2 yr.

1- عين معامل التفكك λ.

2- كم يتطلب من الوقت (t) حتى يختفي 99% من ^{134}Cs .

3- أعد الإجابة عن السؤال السابق بالنسبة لـ ^{137}Cs الذي له عمر نصفي T=30 yr.

-II إذا علمت أن الأستات $^{211}_{85}At$ يتفكك مع إصدار جسيمات α وفق المعادلة التالية:

$$^{211}_{85}At \rightarrow {}^{207}_{83}Bi + \alpha$$

1- أحسب العمر النصفي للعينة إذا علمت أن $2.7\ 10^{15}$ جسيمة α نتجت خلال الساعة الأولى لتحضيرها بكتلة $m=10^{-5}$ g.

-III يستخدم الفسفور ^{32}P كعنصر تقفي إشعاعي لاستكشاف و تحديد الأورام و هو نظير مشع من النوع β^- . إذا علمت أن العمر النصفي له هو T=14.2 day و أن الشدة الاشعاعية الابتدائية للفسفور في الخلايا المحضرة هي 1.6mCi.

1- أحسب عمر (زمن) استخدام هذا النظير إذا كانت الشدة الاشعاعية له بانتهاء مدة بقائه في العضوية هي 10µCi.

4

الكشف عن الاشعاعات المؤينة

1.4 مدخل

تتطلب جميع القياسات النووية في مختبرات البحوث أو المحطات النووية أو القياسات الخاصة بالوقاية من أخطار الاشعاعات المؤينة وغيرها توفر الأجهزة الخاصة بالكشف عن الأنواع المختلفة من الاشعاعات النووية و تسجيلها.

2.4 مبدأ الكشف عن الاشعاعات

يتوقف نوع الكاشف المستخدم على عدة عوامل أهمها:

- نوع الجسيمات أو الاشعاعات المطلوب الكشف عنها.
- طاقة و شدة الاشعاعات أو كثافة تدفقها.
- طبيعة المكان الذي سيوضع فيه الكاشف.

و يقوم مبدأ الكشف عن الاشعاعات على استخدام ظاهرة تأين أو إثارة الاشعاعات لذرات أو جزيئات المادة عند المرور فيها. فعند مرور الاشعاعات في مادة ما يمكن إيجاد عدد الأزواج الالكترونية- الأيونية المتكونة نتيجة للتأيين. و قد لوحظ أن القيمة المتوسطة للطاقة اللازمة لتكوين زوج واحد $\overline{W}$ لا تعتمد على نوع الاشعاعات أو طاقتها و إنما تعتمد على نوع المادة، و أن هذه القيمة هي حوالي 35eV بالنسبة للهواء في الظروف المعيارية. لذا عند مرور جسيمة مشحونة بطاقة 1MeV في الهواء فإنه ينتج في هذا الهواء عددا من الأزواج مقداره:

$$1MeV = 10^6 eV \div 35 = 2.86 \times 10^4 \ electronion\ pairs$$

و ذلك على طول مدى هذا الجسيم. و لما كانت شحنة الالكترون (أو الأيون الناتج) هي $1.6\ 10^{-19}$c فإن الشحنة الناتجة عن هذا الجسيم في الهواء هي: $2.86\ 10^4 \times 1.6\ 10^{-19}$

أي $4.62\ 10^{-15}$ c و يمكن قياس هذه الشحنة أو التيار الكهربائي الناتج عنها بسهولة.

ملاحظة

بالنسبة للأشعة السينية و إشعاعات غاما و الجسيمات المتعادلة فهي لا تؤين المادة عند المرور فيها بطريقة مباشرة و إنما تؤينها بطريقة غير مباشرة. أين تقوم الالكترونات الثانوية الناتجة عن التأثير الكهروضوئي أو تأثير كومبتون أو انتاج الأزواج بعملية تأين المادة و إنتاج الأزواج الالكترونية الأيونية فيها.

3.4 أنواع الكواشف عن الاشعاعات

1.3.4 الكواشف الغازية

يقوم مبدأ عمل الكواشف الغازية على تجميع الشحنات الكهربائية الناتجة عن تأين ذرات الغاز، عند مرور الاشعاعات المؤينة فيه. و بقياس الشحنة الكهربائية الناتجة أو التيار الناتج عنها يمكن الكشف عن مرور الاشعاعات في الغاز و هي اجهزة جد دقيقة حيث يمكنها الكشف عن التلوث الضعيف الذي لا يزيد نشاطه عن جسيم واحد في الدقيقة. و تنقسم الكواشف الغازية إلى ثلاثة أنواع:

1- غرفة التأينIonization Chamber

يبين **الشكل1.4** رسم تخطيطي لغرفة التأين، إذ تتكون غرفة التأين عموما من قطبين معدنيين على شكل ألواح مستوية، موضوعان داخل إناء يفرغ من الهواء الجوي و يملأ بالغاز المطلوب حتى ضغط معين حتى تتناسب مع مختلف الاشعاعات:

- غرفة التأين لجسيمات ألفا: حيث أن القدرة الاختراقية لجسيمات ألفا و الجسيمات المشحونة الثقيلة الاخرى صغيرة (تمتص في الجدار) توجب عمل نافذة رقيقة على شكل غشاء رقيق جدا من مادة خفيفة كالبريليوم تسمح بدخول هذه الجسيمات من خلالها.

مثال

غرفة تأين غازية تدريجها الأصغر يتراوح بين صفر و 500جسيم في الدقيقة. فإذا علمت أن نافذتها تمتص 20% من طاقات جسيمات ألفا و إذا كانت طاقة هذه الجسيمات 5MeV. أحسب مقدار التيار الناتج عنها عندما يكون المؤشر في منتصف التدريج.

الحل

المؤشر عند المنتصف و منه عدد جسيمات ألفا هو: 250 جسيم في الدقيقة.

مقدار الطاقة المفقودة في النافذة لكل جسيم ألفا هو: $\Delta E = 5\times 20/100 = 1MeV$

مقدار الطاقة المؤينة للغاز لكل جسيم: $E = 5-1 = 4MeV$

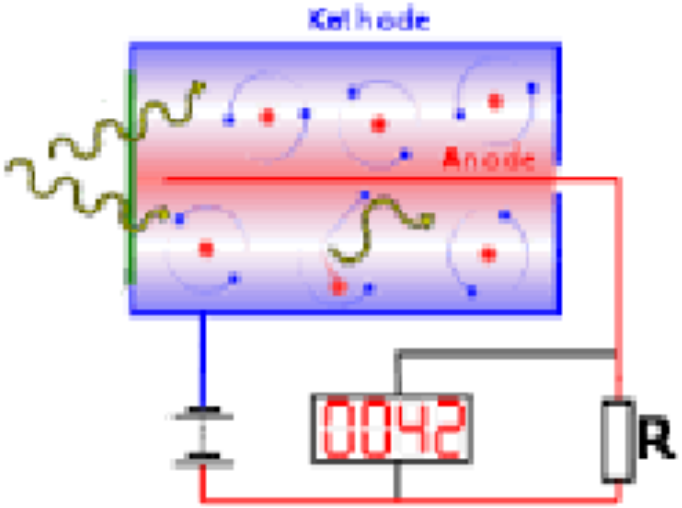
مقدار شدة التيار الناتج هو:

$$I = dQ/dt = 250\times 4 10^{6}\times 1.6 10^{-19}/35\times 60 = 7.6 10^{-14} Ampere$$

$$= 7.6\times 10^{-2} pico\ Ampere$$

- غرفة التأين لجسيمات بيتا: من المعروف أن قدرة جسيمات بيتا على الاختراق كبيرة حيث يصل مداها في الهواء الجوي إلى عدة أمتار (حوالي 5 أمتار) عندما يغطي طيفها مدى طاقي يبدأ من الصفر حتى 1MeV. لذلك فإن ضغط الغاز داخل الغرفة يجب أن يكون كبيرا حتى تتوقف هذه الجسيمات بالكامل داخل الغرفة، و للسبب نفسه تستخدم نوافذ ذات سمك أكبر لتحمل فرق الضغط.

- غرفة التأين لإشعاعات غاما: نظرا للقدرة الاختراقية الفائقة لإشعاعات غاما فإنه لا يلزم وجود نافذة لغرف التأين الخاصة بالكشف عن هذه الاشعاعات. و نظرا لصغر احتمال حدوث كل من التأثير الكهروضوئي و تأثير كومبتون و إنتاج الأزواج داخل الغاز فإن السطح الداخلي للغرفة يبطن بطبقة رقيقة من الرصاص (لكبر عدده الذري)، و ذلك ليزيد من احتمال حدوث هذه العمليات الثلاثة في الرصاص و انطلاق الإلكترون إلى داخل الغاز للقيام بالتأيين. إلا أن سمك هذه الطبقة يجب أن يكون صغيرا و إلا امتصت الالكترونات المنبعثة من العمليات الثلاثة فيه. و جدير بالذكر أن جزءا قليلا من إشعاعات غاما هو الذي يؤدي إلى انطلاق هذه الالكترونات. أما الجزء الآخر فيمر في الغرفة دون أن يترك أي أثر. لذلك تتميز جميع أنواع كواشف إشعاعات غاما بمعامل مهم يعرف بمعامل الكفاءة الذاتية.



الشكل1.4: رسم تخطيطي لغرفة تأين مستوية

1- العدادات التناسبية Proportional Counte

يعتبر العداد التناسبي من أحد الكواشف المملوءة بالغاز وهو عبارة عن غرفة التأين السابق شرحها، ولكن يختلف عنها في زيادة فرق الجهد المسلط بين اللبوسين. هذه الزيادة في فرق الجهد تؤدي إلى إحداث ظاهرة التضاعف للغاز .Gas Multiplication الأمر الذي يساعد على تسريع الإلكترونات الناتجة عن التأين إلى طاقة عالية تمكنها من القيام بتأينات أخرى قبل أن تصل إلى المصعد فينتج عن ذلك عدة مراحل من التأين الثانوي .Secondary Ionization هذه العمليات تُسَهِّل معرفة حركة الفوتون أو الجسيم المتأين عن طريق النبضات الكهربائية Electrical Pulses التي تكون كبيرة لدرجة أنه من السهل كشفها. وبعد فترة زمنية عند تجاوز مدى معين من فرق الجهد يصبح حجم النبضة Pulse متناسباً مع كمية الطاقة المترسبة بواسطة الجسيمات الأصلية أو الفوتونات لذا سمي بالعداد التناسبي.

من أحد عيوب العدادات التي تعمل في منطقة غرفة التأين المذكورة في البند السابق هو الضعف النسبي لنبضته الخارجة والتي تتطلب إما تكبيراً عالياً أو درجة عالية من الحساسية لأجهزة العد الرقمية Scaler المرافقة. للتغلب على هذه الصعوبة والاستفادة من اعتماد حجم النبضة على التأين لغرض التفريق بين الإشعاع فإن العداد يمكن أن يعمل كعداد تناسبي. فبزيادة الجهد على العداد إلى ما بعد منطقة غرفة التأين، يتم التوصل إلى نقطة يتم فيها إنتاج إلكترونات ثانوية فيها بالتصادم، وهي بداية نقطة التناسب.

2- عداد غايغر-مولر Geiger-Mueller Counter

وقد اشتهر باسم عداد G-M أو أنبوب غايغر Geiger Tube وهذا النوع من كواشف الإشعاع-أيضاً-ما هو إلا عبارة عن العداد التناسبي، ولكن يختلف عنه في زيادة فرق الجهد المسلط بين اللبوسين مما يؤدي إلى إحداث ظاهرة التضاعف للغاز بصورة أكبر من العداد التناسبي. حيث يسبب الأيون الواحد تأيناً هائلاً يؤدي إلى نبضات كبيرة جداً من التيار. وهذا النوع من الكواشف ذو كفاءة منخفضة في الكشف عن أشعة غاما حيث يمكن للبعض من الفوتونات النفاذ من الأنبوبة بدون إحداث أي تأين للغاز.

1.3.4 الكواشف التي تعتمد على الإثارة والتأين في المواد الصلبة Excitation and Ionization in Solid State Detectors

في كثير من الحالات تكون كواشف الحالة الصلبة أفضل من الكواشف المملوءة بالغاز وذلك راجع لحساسيتها لإنتاج حوادث التأين Ionization Events التي تتطلب في المتوسط 3.5 eV فقط (في حالة السيليكون) مقارنة بمتوسط الطاقة العالي نسبياً (30 – 35 eV) في الكواشف المملوءة بالغاز وكذلك لصغر حجمها حيث يمكن الحصول على كواشف صغيرة جداً مقارنة بالكواشف المملوءة بالغاز وذلك يعود لِكِبَرْ كثافة الحالة الصلبة بحوالي 1000 مرة من الغاز. كفاءة كواشف أشباه الموصلات تصل إلى حوالي عشرة أضعاف كفاءة كواشف الموصل المملوءة بالغاز. و أوائل الكواشف من هذا النوع كانت تدعى عدادات البلورة Crystal Counter ، ولكن الكواشف الحديثة سميت كواشف أنصاف النواقل Semiconductor Diode Detectors أو ببساطة كواشف الحالة الصلبة Solid-state Detectors.

و تتكون هذه الكواشف من وصلة بلورة شبه موصلة مطعمة من جهة بمانحات و من جهة أخرى بآخذات، القطعتان متصلتان مع بعضهما البعض لتكوّن ما يعرف بوصلة P-N Junction فعند التوصيل تنتقل الإلكترونات من القطعة السالبة إلى القطعة الموجبة العكس بالنسبة للفجوات مما يؤدي إلى تكون منطقة نضوب بينهما Depletion Layer ومن أكثر أنواع كواشف الحالة الصلبة استعمالاً ما يلي:

1- كاشف السيليكونSilicon

حيث أن فجوة الطاقة Energy Gab E_G بين الناقلين هي 1.14 eV، ويلزم الإلكترون طاقة ω حتى يتحرك ويقطع المسافة ويصل الى الفراغ Hole وتساوي ω=3.5 eV

2- كاشف الجرمانيومGermanium Detector

حيث أن فجوة الطاقة (Energy Gab) E_G بين الناقلين هي 0.67 eV، وهي تعتبر أفضل من كاشف السيليكون لأن Gab يعتبر قريب من حالة الناقل . Conductor ويحتاج الإلكترون إلى طاقة ω حتى يتحرك ويقطع المسافة ويصل إلى الفراغ Hole وتساوي ω=3 eV

5.4 تمارين مقترحة

1- جسيم ألفا يفقد كل طاقته في غرفة التأين منتجا 12000 زوج إلكتروني أيوني. أوجد الشحنة الكلية الناتجة عن تجميع أي من الإلكترونات أو الأيونات.

2- جسيمات ألفا طاقتها 4.25MeV تدخل غرفة مِين بمعدل 300جسيم في الثانية، فما هو التيار الناتج عن هذه الجسيمات إذا كانت الجسيمات تفقد كل طاقتها داخل الغرفة و الطاقة اللازمة لتكوين زوج الكتروني أيوني هي 35eV

5

التطبيقات الطبية للإشعاعات المؤينة

1.5 مدخل

حدث في العقود الأخيرة تطور هائل في تطبيقات الاشعاعات المؤينة و المواد المشعة في عدد من المجالات الصناعية و الزراعية و الصيدلانية و الطبية و غيرها. و سوف يستعرض هذا الفصل بعض أهم تطبيقات الاشعاعات و المواد المشعة في الطب في عدة مجالات متنوعة.

2.5 النظائر المشعة و استخدامها في الطب

بالنسبة لفحوص الطب النووي يتم في معظم الأحيان حقن المادة المشعة إلى المريض ثم متابعة انتشار هذه المادة في الأعضاء و الأنسجة المختلفة، و تعرف هذه الفحوص عندئذ بالفحوص داخل الجسم in vivo. و هنال نوع آخر من الفحوص يتم خلاله أخذ عينة من سائل معين أو دم المريض و تضاف إليه المادة المشعة خارج الجسم in vitro.

1.2.5 عناصر التقفي الإشعاعية Radioactive tracers

تطلق تسمية عناصر التقفي (الاقتفاء) الإشعاعية أو الاستشفاء الإشعاعية على النوى المشعة التي تَسِمُ جزيئا نوعيا والتي يستدل على توزعها في عضو ما أو نسيج بدءً من الإشعاعات التي تصدر عنها. لذلك فعنصر التقفي الإشعاعي في الجسم الحي يجب أن يتمتع ببعض المميزات الأساسية وهي:

- صالحا من وجهة النظر الفسيولوجية، أي يسم نوعا خلويا بشكل اصطفائي أو يتثبت على بنية يراد إظهارها أو يتوزع في مواصفة فيزيولوجية يطلب قياسها كاليود مثالً الذي يستخدم في فحص وعلاج الغدة الدرقية .

- قادرا على الاقتران بجزيء نوعي للعضو الذي يطلب إظهاره أو للظواهر المرضية التي يبحث عنها كالنقائل مثلاً دون أن يغير من صفات ذلك الجزيء.

- أن يكون مصدرا لفوتونات غاما لأنها الوحيدة التي تسمح باستكشاف الجسم البشري بدء من الخارج.

- أن تكون طاقة الفوتونات التي يصدرها تتراوح بين 100 – 400 KeV في الجسم الحي وقابلة للكشف باستخدام كاميرا غاماوية أو مصورة آنغر (Anger or Gamma Camera)، فإذا كانت

طاقة الفوتونات ضعيفة جداً يمتص أغلبها في النسيج الرخو أو الجلد، واذا كانت عالية جداً في هذه الحالة يعبر أغلبها الكاشف دون التمكن من كشفه. من أجل الكشف الجيد عن إشعاعات غاما الصادرة عن عنصر الاستشفاء يجب أن تمتلك فوتونات غاما طاقة وسطية قدرها 150 KeV. تجدر الإشارة إلى أن العنصر المشع الأكثر استخداماً في مجال الطب النووي هو التكنيشيوم ^{99m}Tc والذي يصدر عنه إشعاع غاما بطاقة قدرها 140 KeV

- أن يكون دور العنصر المشع قصيرا، فكلما قصر كان عدد الإصدا رات التي يسجلها الكاشف أكبر خلال مدة الفحص ويسمح أيضاً بالحصول على صور أفضل و بتشعيع أقل نظرا لسرعة اختفاء الذ ارت المشعة بعد إجر اء الفحص مثل التكنيسيوم $^{99m}_{Tc}$ ويقدر العمر النصفي له بست ساعات والذي يتم الحصول عليه عندما يتفكك الموليبدن $^{99}_{42}Mo$

- أن يكون غير خطير، أي يجب أن لا تشكل الجرعة المستخدمة في الجسم الحي خطر على مستقبله آخذين بعين الاعتبار الدور الفيزيائي لعنصر التقفي ومدة بقاءه في العضوية.

2.2.5 حساب الجرعة الناتجة عن حقن مادة مشعة في الجسم

لحساب الجرعة الناتجة عن حقن مادة مشعة في الجسم يجب معرفة جميع البيانات الفيزيائية لهذه النوية. و لقد تشكلت لهذا الغرض لجنة من الفيزيائيين و البيولوجيين أطلق عليها اسم Medical Radiation Internal Doses MIRD و قامت هذه اللجنة بجدولة هذه الحسابات (مثال الجدول1.5).

الجدول1.5 : جدول مستدل من جداولMRID يوضح الجرعة الممتصة لوحدة النشاط الاشعاعي المتراكم في بعض الأعضاء البشرية

النظير المشع و عمره النصفي	العضو المتراكم فيه النشاط	جرعة الأعضاء		
		العضو	راد/ميكروكوري ساعة	غراي/بيكرل ثانية
التكنيشيوم 99م 6ساعات	الكبد	الكبد	$4.6\ 10^{-5}$	$3.45\ 10^{-15}$
		النخاع الأحمر	$1.6\ 10^{-6}$	$1.2\ 10^{-16}$
	الغدة الدرقية	الغدة الدرقية	$2.5\ 10^{-3}$	$1.73\ 10^{-13}$
		الغدد الأخرى	$2.1\ 10^{-9}$	$1.58\ 10^{-19}$
اليود13 193 ساعة	الغدة الدرقية	الغدة الدرقية	$2.2\ 10^{-2}$	$1.65\ 10^{-12}$

مثال

أحسب الجرعة الممتصة الناتجة في الكبد عن حقن 1mCi من التكنيشيوم99م في المريض إذا كان هذا النظير محقون في صورة مركب يتركز بالكامل في الكبد تركيزا متجانسا و باعتبار أن العمر البيولوجي النصفي أكبر بكثير من العمر النصفي الفيزيائي الذي يبلغ 6.02 ساعة.

الحل

من المعلوم أن متوسط العمر لنظير مشع يساوي إلى العمر النصفي مقسوما على ln2 (أنظر الفصل الثالث). بذلك يكون متوسط العمر τ للكمية المحقونة التي تتركز في الكبد هو:

$$\tau = 6.02 / \ln 2 = 8.685 hour$$

و بذلك يمكن حساب النشاط الاشعاعي المتراكم في الكبد A عن الكمية المحقونة طوال العمر المتوسط بوحدة البيكرل ثانية (تفكك أو اضمحلال في الثانية) من العلاقة:

$$A = f(\text{الكمية المحقونة})\ \tau = 3.7\ 10^{7}\ 8.685\ 3600$$

و منه:

$$A = 1.1568\ 10^{12} dis\ (or\ Bq.sec)$$

و باستخدام **الجدول1.5** تكون الجرعة المودعة (الممتصة) في الكبد و الناتجة عن الكمية المحقونة هي:

$$D = A\ 3.45\ 10^{-15}$$

و منه:

$$D = 3.99\ Gray$$

3.2.5 التصوير في الطب النووي

من المشاكل الرئيسية للحصول على صور لجسم الإنسان وخصوصا الأعضاء الداخلية مثل القلب و الدماغ و الكلية والكبد، هي أن جسم الإنسان لا يمر عبره الضوء مثل الزجاج والماء. فإن تطلب الأمر تشخيص دقيق لمرض قد يصيب تلك الأعضاء كان يجب إجراء عملية جراحية لمعرفة ذلك، ولكن وبفضل التصوير النووي تمكن الأطباء من النظر داخل جسم الإنسان وذلك باستخدام النظائر المشعة والكواشف الخاصة لها وأجهزة الكومبيوتر المتطورة. و يعتمد التصوير النووي على التقنيات الأربعة التالية:

1- التصوير الومضاني التشخيصي:

نحصل بالتصوير الومضاني على صور ثنائية البعد للجزء المصور من جسم المريض، ومن أهم الحالات التي يلجأ فيها الطبيب إلى هذه التقنية أمراض العظام بأنواعها المختلفة كالكسور الناجمة عن الحوادث أو الإجهاد والالتهابات العظمية وصولاً إلى سرطان العظم .كما يستخدم للكشف عن الحالات المرضية للشرايين الإكليلية ويسمح بتقييم الحالة الوظيفية للعضلة القلبية بشكل عام، تستخدم فيه مادة دوائية موسومة بمركب التكنشيوم .

أمثلة

- **المسح الشعاعي للعظام والنخاع العظمي Bone and Bone Marrow Scan**

في بعض الفحوصات يتم حقن المريض بمادة خاصة تعرف باسم methyldiphosphate technetium-pp والتي تحتوي على الفوسفات حيث تتجه إلى العظام في جسم الإنسان خصوصاً تلك المناطق التي يكون فيها النشاط غير طبيعي والصور الناتجة تعطي بقع مضيئة للأماكن التي تكثر فيها تلك المناطق وتعطي بقع داكنة للمناطق التي تحتوي على نشاطٍ عادي .وبهذا يمكن مسح شامل للهيكل العظمي في الجسم وتقصي أي أثر لورم سرطاني.

- **المسح الشعاعي للمخ**

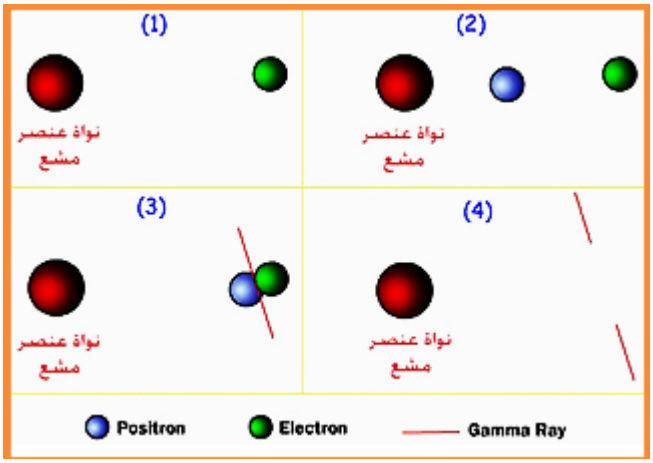
يستخدم في المسح الشعاعي للمخ التكنيشيوم بدون إضافات أو بإضافة مادة أخرى تسمي DTPA

- **المسح الشعاعي للكبد**

يستخدم في المسح الشعاعي للكبد التكنيشيوم مضافاً إليه مادة غروية تلتقطها خلايا الكبد.

2- الإشعاع (الإصدار) البوزيترون المقطعي Positron emission tomography (PET)

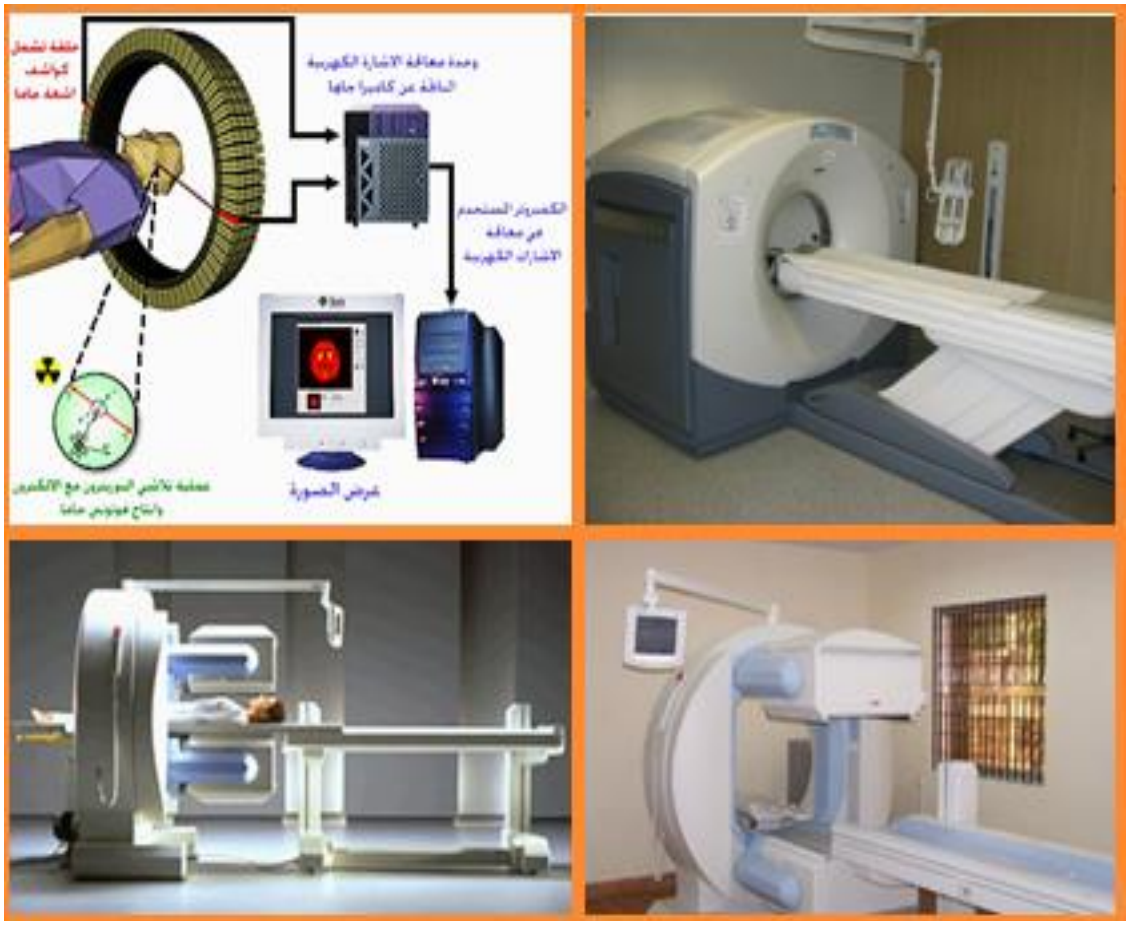
باستخدام تقنية الإشعاع البوزيترون المقطعي يمكن الحصول على صورة لجسم الإنسان، و هذا من خلال التقاط الإشعاع الذي يصدر عن النظائر المشعة التي يحقن بها جسم المريض والتي تكون إما ^{11}C أو ^{18}F أو ^{15}O أو ^{13}N وكل هذه العناصر المشعة لها عمر نصفي قصير جداً. و يتم الحصول على هذه النظائر المشعة من خلال تسليط نيوترونات مسرعة على ذرات تلك العناصر لتصبح مشعة و لفترة زمنية قصيرة. وعند حقن جسم الإنسان بتلك النظائر المشعة فإنها تطلق جسيمات تسمى البوزيترونات، يتحد البوزيترون مع الإلكترون في جسم الإنسان ويصدر عن ذلك فوتونا أشعة غاما (أنظر **الشكل 1.5**) وهي التي تستخدم للحصول على الصورة كما سيتم شرحه من خلال كاميرا خاصة تسمى كاميرا غاما(Gamma Camera)



الشكل 1.5: يوضح مراحل اصدار فوتونا غاما

كيف تتكون الصورة من فوتونات أشعة غاما؟

في تقنية التصوير PET يتم حقن المريض بنظير مشع ويتم وضعه على سرير خاص متحرك ليدخل في حلقة وفي داخل هذه الحلقة يوجد كواشف أشعة غاما والتي تعرف بكاميرا غاما (أنظر **الشكل 2.5**) وتتكون هذه الكواشف من سلسلة من بلور ا ت خاصة تعرف باسم بلور ا ت التألق photomultiblier tube كل بلورة متصلة مع مضخم فوتوني يعرف باسم أنبوب المضخم الفوتوني وتعمل البلورا ت على تحويل أشعة غاما المنطلقة من جسم الإنسان إلى فوتونات ضوئية يتم تحويلها إلى إلكترونات عندما تُستقبل بواسطة المضخم الفوتوني والذي يعمل على تكبيرها لآلاف المرا ت لتشكل إشارة كهربائية تعالج بواسطة الكومبيوتر لتكوين الصورة . و يتحرك السرير ببطء ليتم التقاط اشارات دقيقة وتؤخذ صور لكل جزء من الجسم حسب حركة السرير داخل الحلقة وبهذه الطريقة يحصل الطبيب على مسح كامل للمنطقة المحددة من جسم الإنسان مثل الدماغ أو الكبد ويتم تجميع هذه الصور المقطعية في ذاكرة الكومبيوتر والذي يقوم بمعالجتها وتحويلها لصور ثلاثية الأبعاد (أنظر **الشكل 2.5**).



الشكل 2.5: يوضح كيفية تكون الصورة من فوتونات أشعة غاما في تقنية التصوير PET

توفر الصور المأخوذة بتقنية الـ PET معلومات في غاية الأهمية عن تدفق الدم في الاوعية الدموية بالإضافة إلى معلومات عن العديد من الوظائف البيو كيميائية التي تحدث في الجسم. ويمكن تحديد المنطقة المراد تصويرها أو العملية البيوكيماوية بدقة من خلال اختيار النظير المشع الذي يحقن به المريض. فعلى سبيل المثال يمكن بواسطة تقنية الـ PET الحصول على صور لعملية احتراق الغلوكوز في الدماغ أو أي تغير ات سريعة تحدث خلال الأنشطة المختلفة التي تقوم بها أعضاء الجسم وعلى كل حال فإن أماكن تواجد أجهزة التصوير التي تعمل بتقنية الـ PET محدودة ونطاق انتشارها قليل في الكثير من الدول لأنه يتطلب بناء مر اكز خاصة لها بالقرب من المسرعات النووية لتوفير النظائر المشعة التي لها عمر نصف صغير.

3- الإشعاع (الإصدار) الفوتوني المفرد المقطعي المحوسب Single photon emission computed tomography (SPECT)

تشبه تقنية الاشعاع الفوتوني المفرد المقطعي المحوسب SPECT تقنية الإشعاع البوزيترون المقطعي PET ولكن تستخدم في عملية التصوير نظائر مشعة مختلفة مثل ^{133}Xe و ^{99}Tc و ^{123}I والتي لها أعمار نصف أطول من تلك المستخدمة في تقنية الـ PET. كما أنها تطلق فوتون غاما واحد بدلاً من فوتونين. توفر تقنية الـ SPECT معلومات حول تدفق الدم من خلال الصور المأخوذة بهذه التقنية، و في الغالب تكون المعلومات أقل ولكن تكلفتها أقل بكثير من تلك المأخوذة بواسطة تقنية الـ PET وأماكن تواجد الأجهزة التي تعمل بتلك التقنية متوفرة أكثر لأنه وجودها لا يتطلب أن تكون بالقرب من المسرعات النووية.

4- التصوير القلبي الوعائي Cardiovascular imaging

تستخدم تقنية التصوير القلبي الوعائي للحصول على منحنيات تبين تدفق الدم بين القلب و الشرايين والأوردة في داخل جسم الإنسان. وفق هذه التقنية يقوم الطبيب المختص بحقن المريض بعنصر الثاليوم المشع ^{204}Tl بينما يمارس المريض الجري على جهاز رياضي ويتم خال ذلك تصويره بواسطة كاميرا غاما التي تعمد لالتقاط فوتونات غاما الصادرة عن إنحال عنصر الثاليوم. وبعد ذلك يأخذ المريض فترة راحة لد راسة معدل النبض بدون أي إجهاد على القلب. و من الصور التي تم الحصول عليها قبل التمرين وبعده يمكن معرفة التغير في تدفق الدم في الحالتين، و بهذا الفحص يستطيع الطبيب معرفة العوائق التي قد تكون موجودة في الشرايين والأوعية أو حتى في عضلة القلب نفسه.

ملاحظة

تتوفر حاليا أجهزة متعددة الوظائف يطلق عليها اسم PET-MRI scanner تستخدم بشكل أساسي لتصوير الدماغ الوظيفي التشريحي بآن معا. و تتوافر أيضا إمكانية معالجة صور الـ CT وصور الـ PET وصور الـ MRI المأخوذة من أجهزة تصوير منفصلة بشكل مشترك لإجراء تشخيص متكامل باستخدام جهاز يعرف باسم N-localizer.

3.5 المعالجة الاشعاعية في الطب النووي

تهدف المعالجة الشعاعية إلى هدم بُنية الخلايا السرطانية وبالتالي القضاء عليها نهائياً، أو تقليص كتلة الورم لتخفيف تأثير اته على أقل تقدير، وذلك باستخدام النظائر المشعة، أو بتوليد حزم من الأشعة عالية الطاقة، وتسليطها على الأنسجة والخلايا الورمية. تقليدياً يتم استخدام الأشعة السينية كمصدر للأشعة بجرعات عالية تقدر بأضعاف الجرعة المستخدمة في أجهزة التصوير الشعاعي، إضافة إلى استخدام مصادر أخرى، مثل أشعة غاما أو حزم من النيوترونات أو حزم البروتونات، أو حزم من الإلكترونات ،و قد ساهم الاستخدام الواسع للأشعة في معالجة السرطان، إلى ارتفاع نسب الشفاء بشكل كبير وإطالة عمر المرضى، وتعد هذه المعالجة من أهم العلاجات الفعالة للعديد من الأورام الناشئة في أجزاء مختلفة من الجسم.

وتكمن فاعلية هذه المعالجة في مقدرة الأشعة على تدمير وتفتيت الحمض النووي بالخلايا السرطانية، وبصفةٍ عامة فالخلايا التي تنمو وتتكاثر بوتيرة سريعة، شأن الخلايا السرطانية، هي أكثر حساسية تجاه تأثير الأشعة، وبطبيعة الحال، تتخذ تدابير وقائية أثناء المعالجة الشعاعية، تفادياً لتعريض مساحة أكبر من الأنسجة والأعضاء السليمة للأشعة، وتتم حمايتها عادةً باستخدام دروع واقية وبأنماط مختلفة. إلا أنه وبالرغم من هذه التدابير، تتأثر بعض الخلايا السليمة بالأشعة إوان كانت عموماً قادرة على النجاة، نظرًا لمقدرتها على الإصلاح وترميم الأضرار الواقعة على الحمض النووي.

و تقسم المعالجة الشعاعية إلى نوعين، خارجي external، حيث يصدر الإشعاع من جهاز يوجه على أماكن محددة بالجسم، وداخلي internal ، حيث يصدر الإشعاع من مادة مشعّة يتم تثبيتها مباشرة داخل أنسجة الورم أو قريباً منها، سواءً بشكلٍ مؤقت أو بصفةٍ دائمة، وقد يتم استخدام النوعين معاً في بعض الحالات.

4.5 رصد الأشعة السينية التشخيصية

بالنسبة للتشخيص بالأشعة السينية ينصب الاهتمام على كمية الأشعة التي تخترق أعضاء و أنسجة الجسم البشري. فالأنسجة البشرية المختلفة تمتص نسبا مختلفة من الأشعة السينية. و بقياس كمية الأشعة المخترقة للنسيج يمكن معرفة التركيب الداخلي لهذا النسيج من خلال ما يعرف بصورة الظل Shadow Picture

لهذا النسيج و التي تتمثل في كثافة الاشعاعات المخترقة له. و تعنى فيزياء الأشعة السينية التشخيصية في الوقت الحاضر على كيفية التحصل على صورة واضحة للنسيج أو العضو مع إيداع أقل كمية ممكنة من الأشعة في ذلك العضو أو النسيج نظرا للمخاطر التي قد تترتب على إيداع هذه الطاقة به. و تتكون صورة للأجزاء المختلفة لجسم المريض، من خلال اختلاف كمية الاشعة السينية التي تخترق الأنسجة (نسيج لحمي أو دهن أو فجوات هوائية أو عظام) و تصل إلى وسيلة التسجيل و هي واحدة من الوسائل التالية:

- صور ثابتة: يستخدم فيها فيلم حساس عبارة عن مادة بلاستيكية شفافة ورقيقة و مكسوة بطبقة من مادة حساسة للأشعة السينية. و بعد معالجة الفيلم تتدرج مناطقه بين السواد الحالك و البياض الناصع، و المناطق الداكنة في صورة الأشعة السينية تمثل الأنسجة ذات الكثافة المنخفضة مثل الرئة، و أما المناطق الشفافة فتمثل الأنسجة ذات الكثافة العالية مثل العظام.

- التصوير المقطعي (ثلاثي الأبعاد): الذي دخل في المجال الطبي سنة 1973 و يعتمد على تحريك أنبوب الأشعة السينية في اتجاهات عدة و تجميع البيانات من الكواشف بواسطة الحاسوب ثم عرضها على شاشة عرض مناسبة.

- تصوير الأنسجة الرخوة: عند تصوير الأنسجة الرخوة مثل المريء و المعدة يتناول المريض كمية من الباريوم 56 الذي يمتص الأشعة السينية أكثر من الأنسجة (العدد الذري للماء Z=7.42) مما يؤدي إلى زيادة التباين و الوضوح في الصور.

5.5 تمارين مقترحة

1- ما المقصود بمصطلح الطب النووي.
2- أذكر نويدتان من النويدات المستخدمة في مجال الطب النووي و اشرح بالتفصيل كيفية انتاج النويدة الأم لكل منهما مع كتابة معادلة التفاعل لكل منهما.
3- أرسم مخططا للمصورة الغامية يبين مكوناتها الرئيسية و اذكر وضيفة كل منها.
4- أذكر مزايا و عيوب مستقبلات الصورة بأنواعها.
5- أحسب الجرعة الممتصة الناتجة في الكبد عن حقن 600MBq من التكنيشيوم99م في المريض إذا كان هذا النظير محقون في صورة مركب يتركز بالكامل في الكبد تركيزا متجانسا و باعتبار أن العمر البيولوجي النصفي أكبر بكثير من العمر النصفي الفيزيائي الذي يبلغ 6.02 ساعة.

6

تفاعل الاشعاعات المتبادل مع المادة

1.6 مدخل

يتعرض هذا الفصل للتفاعل المتبادل بين الاشعاعات و المادة. و المقصود بكلمة الاشعاعات هنا هو جميع أنواع الاشعاعات المؤينة كالجسيمات المشحونة الثقيلة (مثل جسيمات ألفا)، و الجسيمات المشحونة الخفيفة (الالكترونات و البوزيترونات)، و الاشعاعات غاما و الأشعة السينية. و لا يتعرض هذا الفصل للتفاعلات النووية التي قد تحدثها الاشعاعات في المادة و لكنه يقتصر على دراسة التأثير الجهري (المايكروسكوبي) المتبادل بين الاشعاعات و المادة مثل امتصاص الاشعاعات في المادة أو اختراقها لها. و نظرا لاختلاف هذا التأثير باختلاف نوع الاشعاع و اختلاف طاقتها فسيدرس تأثير كل نوع على حدى.

2.6 تفاعل الاشعاعات مع المادة

هل الاشعاع الجسيمي كله مؤين؟

نعم و هو نوعان

A: جسيمات مشحونه : مثل p , β , α

B: جسيمات غير مشحونه : مثل n

تعتمد قابلية الاشعاع على التأين على مقدار طاقته والتي تحدد بالمقدار $h\upsilon$ وكذلك على شحنته.

1.2.6 التفاعل المتبادل بين الجسيمات الثقيلة و المادة Interaction of heavy charged particles with matter

1- انتقال الطاقة بين الجسيمات الثقيلة و المادة The energy transfer

عند سقوط الجسيمات المشحونة الثقيلة، كجسيمات ألفا و الديوترونات و البروتونات وغيرها، على المادة تنتقل الطاقة هذه الجسيمات إلى المادة بالتدريج إلى أن تتوقف الجسيمات الساقطة. و يتم هذا الانتقال أساسا عن طريق التصادمات غير المرنة (inelastic collision) مع إلكترونات ذرات المادة التي تمر خلالها الجسيمات. و ينتج عن هذه التصادمات بين الجسيمات المشحونة الساقطة والالكترونات إثارة لهذه الذرات (أي انتقال أحد الكترونات الذرة من مداره إلى مدار آخر ذي طاقة أعلى (أو تأينها) أي انفصال الالكترون

عن ذرته تماما). و هكذا يحدث تأين ابتدائي لذرات المادة و هو ذلك التأين الناتج عن الجسيمات الثقيلة ذاتها. و يمثل هذا التأين الابتدائي حوالي 30% من اجمالي التأين الناتج عن توقف الجسيم المشحون في المادة، و إما النسبة الباقية و هي حوالي 70% من إجمالي التأين فتعرف بالتأين الثانوي، و هو ناتج عن إلكترونات التأين الابتدائي التي تنطلق بسرعات عالية نسبيا، فتؤدي بدورها إلى تأين المادة. و تسمى الالكترونات الثانوية(δ- electrons). و هكذا تفقد الجسيمات المشحونة الثقيلة طاقتها بالتدريج مع تغلغلها داخل المادة و تقل بالتالي سرعتها تدريجيا.

و يتكون نتيجة لتأين الذرة الواحدة زوج إلكتروني –أيوني و يمكن قياس العدد الكلي n للأزواج الإلكتروني –الأيوني عن كل من التأين الابتدائي و الثانوي و ذلك باستخدام العديد من الطرق التجريبية. و بمعرفة كل من طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة E و عدد الأزواج n فإنه يمكن حساب القيمة المتوسطة للطاقة اللازمة لتكوين زوج إلكتروني-أيوني واحد من العلاقة:

$$\overline{W} = \frac{E}{n} \ldots (1.6)$$

و لقد وجد أن قيمة $\overline{W}$ اللازمة لتكوين زوج واحد تعتمد اعتمادا واضحا على نوع المادة و لكنها لا تعتمد على طاقة الجسيمات الساقطة أو على طبيعة هذه الجسيمات. كما وجد أن قيمة $\overline{W}$ تكون صغيرة جدا فهي تساوي 35eV بالنسبة للهواء في الظروف المعيارية من الضغط و درجة الحرارة، و هذا يعني أن الجسيمات الساقطة تتعرض لعدد كبير من التصادمات قبل أن تتوقف. و عند فقد هذه الكمية الصغيرة من الطاقة في كل تصادم فإن الجسيمات الساقطة لا تغير مسارها و هو مستقيم. و تجدر الاشارة إلى أن احتمال تصادم الجسيمات المشحونة مع النوى صغير جدا.

2- التأين النوعي The specific ionization S

يعرف التأين النوعي S على أنه عدد الأزواج الالكترونية –الأيونية المكونة خلال ملليمتر واحد من الهواء الجوي عند درجة الحرارة 15°C و ضغط يساوي 760 مم زئبق و تصل قيمة S بالنسبة لجسيمات ألفا إلى عدة آلاف زوج لكل ملليمتر من الأثر و ذلك عندما تكون طاقة جسيمات ألفا في حدود عدة ميغا إلكترون فولت. و التأين النوعي يكون صغيرا عندما يكون جسيم ألفا في بداية الأثر أي عندما تكون طاقته ما تزال كبيرة، و يزداد التأين النوعي بالتدريج إلى أن يصل إلى أقصى قيمة له عندما يصبح جسيم ألفا في نهاية الأثر أي عندما تصبح طاقته صغيرة جدا. و يرجع السبب في ذلك إلى أن زمن تعرض إلكترونات ذرات المادة للمجال الكهربائي للجسيم يصبح طويلا نسبيا عندما تنخفض سرعة هذا الجسيم، أي عندما تقل طاقته. و زيادة زمن التعرض تؤدي بالتالي إلى زيادة احتمال التأين.

3- قدرة الايقاف The stopping power

يمكن تعريف قدرة الايقاف على أنها معدل فقد الجسيم المعين ذي الطاقة المعينة لطاقته داخل المادة أو كمية الطاقة التي يفقدها الجسيم في ملليمتر واحد من الأثر.

$$\overline{W} \times S = -\frac{dE}{dx} \ldots (2.6)$$

و الاشارة السالبة تعني فقد الطاقة كلما زادت مسافة التغلغل في المادة. و لقد تمكن هانز بيتي (H.Bethe) من اشتقاق العلاقة النظرية لقدرة الايقاف المتوسطة لكل 1cm من المادة و هي:

$$-\frac{dE}{dx}=\left(4\pi e^4 z^2/m_0V^2\right)ZN\left[\ln\left(2m_0V/I\right)-\ln\left(1-V^2/c^2\right)-V^2/c^2\right]...(3.6)$$

حيث z و V هما شحنة و سرعة الجسيم الساقط و m_0 كتلة الالكترون عند السكون و N عدد ذرات المادة لكل cm^3 و Z هو العدد الذري للمادة و I هو متوسط جهد التأين لذرات هذه المادة و c هي سرعة الضوء في الفراغ.

و إذا كانت طاقة الجسيمات الثقيلة الساقطة صغيرة تكون سرعتها صغير بالنسبة لسرعة الضوء و منه:

$$-\frac{dE}{dx}=\left(4\pi e^4 z^2/m_0V^2\right)ZN\left[\ln\left(2m_0V/I\right)\right]...(4.6)$$

و في الأغراض العلمية يفضل استخدام قدرة الايقاف النسبية (Relative Stopping Power RSP) بين الهواء و المادة :

$$RSP=-\frac{dE}{dx}(air)/-\frac{dE}{dx}(abs)....(5.6)$$

و يمكن إثبات أن قدرة الايقاف لجسيمات ألفا أكبر أربع مرات من قدرة الايقاف للبروتونات في المادة نفسها التي طاقتها ¼ طاقة جسيمات ألفا، و ذلك عند استخدام المادة نفسها. فمن المعروف أن مدى جسيمات ألفا في الهواء يساوي 3.5cm إذا كانت طاقتها حوالي 5MeV. و بذلك يكون مدى البروتون الذي تبلغ طاقته 1.25MeV هو 14cm و يوضح هذا المثال أن قدرة الايقاف لجسيمات ألفا كبيرة (أي أن مداها قصير). و تقل هذه القدرة كلما صغرت كتلة الجسيم وشحنته.

4- مدى الجسيمات المشحونة الثقيلة Range of heavy charged particles

مدى الجسيم المشحون في مادة ما هو عبارة عن طول المسافة المستقيمة التي يقطعها الجسيم، في اتجاه سقوطه. في اتجاه سقوطه في هذه المادة ولما كان أثر الجسيم الثقيل عبارة عن خط مستقيم فإن مدى الجسيم الثقيل هو نفسه أثر هذا الجسيم في المادة. و قد ذكرنا سابقا أن طول الأثر للجسيمات يكون واحدا تقريبا طالما كانت طاقتها الابتدائية واحدة. و يمكن قياس مدى جسيمات ألفا مثلا في الهواء بقياس عدد جسيمات ألفا التي تسجل بتثبيت الكاشف عند مسافات مختلفة من مصدر هذه الجسيمات. كما تجدر الاشارة إلى أنه يمكن تحديد المدى بدلالة قدرة الايقاف و ذلك طبقا للعلاقة التالية:

$$R=\int_0^R dx=\int_0^E dE/-\frac{dE}{dx}....(6.6)$$

ملاحظة

إن مقدار طاقة الفا الناتجة من التفاعلات النووية تتراوح بين 4-MeV 9 و ان اهم تفاعلات اشعة الفا هي:

1- التأين اي تكوين الازواج الأيونية.

2- الإثارة اي تكوين ذرات مثاره.

2.2.6 التفاعل المتبادل بين الالكترونات و المادة Interaction of electrons with matter

اشعة بيتا عباره عن حزم الكترونيه عالية الطاقة وتتفاعل مع المادة من خلال تفاعلها مع الالكترونات المدارية للذرة وكذلك تفاعلها مع المجال الكهربائي للنواة . تنتج اشعة بيتا الازواج الأيونية وكذلك تحدث للمادة اثاره والفرق الجوهري بين تفاعل الفا وبيتا مع المادة هو ان اختراق بيتا للمادة اكبر من اختراق الفا لها وذلك لسرعتها العالية لذلك يمكنها اختراق المدارات الذرية والوصول الى المجال الكهربائي للنواة وانتاج الأشعة السينية وان التأين النوعي الذي تحدثه بيتا اقل من التأين النوعي الذي تحدثه الفا، وإن أهم العمليات التي قد تحصل عند امتصاص جسيمات بيتا هي:

1- فقد الطاقة بالإثارة و التأين (انتاج الازواج الأيونية)

عندما تكون طاقة الالكترونات الساقطة (أقل من ½ ميغا الكترون فولت) تفقد هذه الالكترونات طاقتها عن طريق اثارة الالكترونات المدارية لذرات المادة أو تأيين هذه الذرات بنفس أسلوب انتقال الطاقة من الجسيم الثقيل إلى المادة. وتبلغ نسبة التأين الابتدائي في حالة الالكترونات حوالي 20% و الباقي ناتج عن التأين الثانوي. و نظرا لأن كتلة الالكترون صغيرة للغاية بالنسبة لكتلة الجسيم الثقيل تكون سرعة الالكترونات كبيرة للغاية بالمقارنة بسرعة الجسيم الثقيل الذي يكون له نفس الطاقة. و هذا يعني أن زمن ابقاء الالكترون بالقرب من ذرة معينة من ذرات المادة يكون صغيرا للغاية، مما يؤدي إلى انخفاض التأين النوعي S. فإذا كان التأين النوعي لجسيمات ألفا يبلغ عدة آلاف في بداية الأثر و يتضاعف عند نهايته، فيلاحظ أن التأين النوعي للإلكترونات لا يتعدى 10 في بداية الأثر و يصل إلى حوالي المائة عند النهاية.

و ينتج في هذه الحالة (مثال الصوديوم) ايون موجب والكترون:

$$Na + \beta_{E_1} \xrightarrow{ionization} Na^{+} + e + \beta_{E_2}$$

و ذرات متهيجه غير مستقرة:

$$Na + \beta_{E_1} \xrightarrow{excitation} Na^{*} + \beta_{E_2}$$

لا تختلف نظريات انتقال الطاقة في حالة الالكترونات عن طريق التصادمات غير المرنة (الاثارة و التاين) عن مثيلاتها بالنسبة للجسيمات المشحونة الثقيلة. و يمكن الحصول القيمة النظرية لقدرة الايقاف للالكترونات من اللاقة التالية:

$$-\frac{dE}{dx}=\left(4\pi e^4/m_0V^2\right)ZN\left[\ln\left(m_0V^2/2I\right)+0.15\right]...(10.6)$$

و طبقا لقوانين حفظ الطاقة فإنه عند تصادم الجسيم الثقيل مع إلكترون المادة تنتقل نسبة ضئيلة جدا من طاقة الجسيم إلى الكترون المادة لا تتجاوز $4m_0/M$، حيث M كتلة الجسيم الثقيل. أما عند تصادم الالكترون الساقط مع إلكترون المادة فيمكن أن تصل قيمة الطاقة المنتقلة من الإلكترون الساقط إلى إلكترون المادة لنصف طاقة الالكترون الساقط في التصادم الواحد. أي أنه في حالة الالكترونات هناك احتمال لانتقال كمية كبيرة من طاقة الالكترون الساقط في التصادم الواحد إلى أحد الالكترونات المدارية. و يؤدي هذا إلى زيادة التبعثر في حالة الالكترونات، بحيث يكون عادة أكبر بكثير من التبعثر في حالة الجسيمات الثقيلة. و بالإضافة إلى ذلك فإنه لصغر كتلة الالكترونات فإن التصادمات بين الالكترون الساقط و الكترونات و نوى المادة قد تؤدي الى انكسار مسار الالكترون. لذا يكون أثر الالكترون الساقط في المادة عادة عبارة عن خط منكسر.

2- فقد الطاقة بالإشعاع (ظاهرة الكبح او الابطاء)

عند زيادة طاقة الالكترونات الساقطة فإنه بالإضافة لفقد الطاقة عن طريق التصادمات غير المرنة (اثارة وتأين ذرات المادة) يمكن أن تفقد الالكترونات الساقطة طاقتها في صورة اشعاعات تعرف باسم اشعاعات الانكباح (bremsstrahlung radiation)، وهذا بإصدار الأشعة سينية. و تقوم العملية الاخيرة (أي فقد الطاقة بالإشعاع) بالدور الأساسي في فقد طاقة الالكترونات الساقطة كلما زادت طاقة هذه الالكترونات. و تنتج اشعه سينيه ذات طيف مستمر تسمى اشعة التباطؤ:

$$Na+\beta_{E_1}\xrightarrow{bremsstrahlung}Na+\beta_{E_2}+X-Ray$$

و لحساب الطاقة التي يفقدها الكترون في شكل انكباح على وحدة الطول من المسار داخل المادة تستخدم العلاقة التالية:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{rad}=\left[4Z(Z+1)e^4NE/137m_0^2c^2\right]\left(\ln183Z^{-1/2}+0.125\right)...(11.6)$$

و هكذا فإن قدرة الايقاف الكلية للإلكترونيات هي: $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{tot}=\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{rad}+\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{inel}$ ....(12.6)

ما العلاقه بين طاقة بيتا ومداها؟

ان مدى دقائق بيتا في الهواء كبير جدا وان مداها في المادة اكبر بكثير من دقائق الفا بسبب كتلتها المتناهية في الصغر مقارنه مع جسيمات الفا تكون العلاقة عكسيه بين مدى اشعة بيتا والوزن الذري لمادة الوسط الذي تمر فيه وان مدى اشعة بيتا في الهواء يكون:

$$R_{ß}(air) = 0.542 \times E_{ß} \ldots (13.4)$$

3- ظاهرة فناء البوزترون

تفقد البوزيترونات طاقتها بالأسلوب نفسه للإلكترونات، إلا أنه يوجد فرق جوهري بين البوزيترونات و الالكترونات. فعندما يفقد البوزيترون طاقته عند نهاية الأثر فإنه عند اصطدامه بالإلكترون يفنيان معا (الالكترون و البوزيترون) مكونين بذلك فوتونين من فوتونات غاما باتجاهين متعاكسين ومتساويين وطاقة كل منهما 0.511 Mev، و هي الظاهرة المعروفة بتلاشي المادة و المادة المضادة عند تلاقيهما (annihilation).

$$Na + \beta^{+} \xrightarrow{positron.....annihilation} Na^{+} + 2\gamma$$

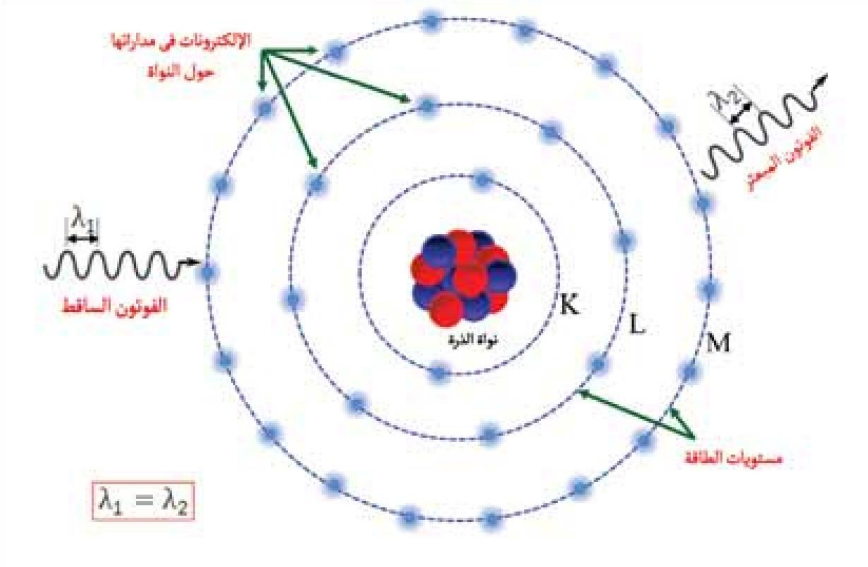
3.2.5 التفاعل المتبادل بين إشعاعات غاما و المادة

إن المصادر الرئيسية لأشعة غاما هي الكوبالت 60 وطاقتها 1.25 Mev و السيزيوم137 وطاقتها 0.66 Mev ولكونها ليس لها شحنه ولا كتلة فان تفاعلها مع ذرات المادة قليل ومداها يزيد بأشواط كبيرة عن مدى بيتا والفا لذلك فان التأين النوعي الذي تحدثه في المادة قليل جدا (1% من التأين الذي تحدثه بيتا) وتشترك التأثيرات الاساسية الناتجة عن انتقال الطاقة من اشعة غاما الى المادة مع تلك الناتجة عن انتقال الطاقة من الاشعة السينية الى المادة. و تتلخص تفاعلاتها مع المادة كما يلي:

1- التشتت المترابط (تشتت براك ورايلي)

حيث تمتص اشعة غاما ويعاد انبعاثها مباشرة من الذرة بنفس الطاقة ولكن باتجاه مختلف (تصادم مرن مع الالكترونات). و يبين **الشكل1.6** رسما توضيحيا لهذه العملية.

$$Na + \gamma_{E_1} \xrightarrow{coherent.....scattering} Na + \gamma_{E_2}$$



الشكل 1.6: رسم تخطيطي لتبعثر رايليه حيث لا يفقد الفوتون الساقط أي جزء من طاقته

2- التأثير الكهروضوئي The photoelectric effect

و خلاله يفقد الفوتون (غاما أو الأشعة السينية) طاقته بالكامل، و يمنحها لأحد الالكترونات شديدة الارتباط بنواة ذرة من ذرات المادة ، أي لأحد الكترونات المدارات الداخلية، و بالتالي يفنى هذا الفوتون. فنتيجة للاصطدام المباشر بين الفوتون الساقط و احد الالكترونات المرتبطة بالذرة تمتص الذرة طاقة الفوتونات بصوره كلية وينتج عن هذا الامتصاص تهيج الذرة الى طاقة اعلى من طاقة الربط لاحد الكتروناتها المدارية مما يؤدي الى قذف الكترون مداري خارج الذرة ويسمى هذا الالكترون بالإلكترون الكهروضوئي(the photoelectric electron) و يمكن التعبير عن طاقة الإلكترون المنطلق بالعلاقة التالية:

$$E_e = E_\gamma - B = h\upsilon - B \quad ....(14.6)$$

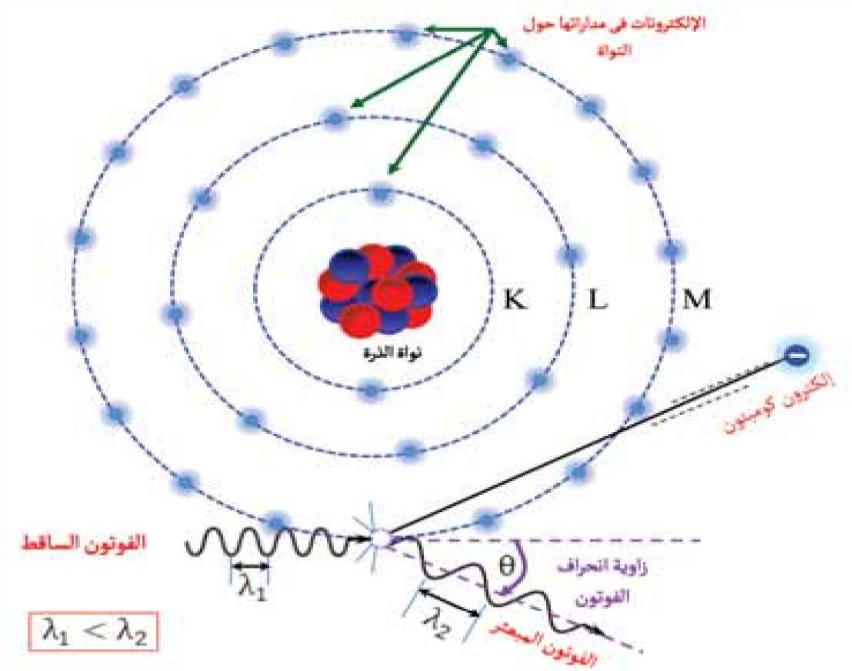
حيث Ee طاقة الالكترون المنطلق، Eγ طاقة الفوتون الساقط حيث h ثابت بلانك و υ تردد الاشعاع، أما B_e فتمثل طاقة ترابط الالكترون بالذرة، لذا لا يحدث هذا الأثر إلا إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة ترابط الالكترون بالذرة أي أن $h\upsilon \succ B$ و هذا انطلاقا من الالكترونات الخارجية وصولا إلى الكترونات المدار K.

$$Na + \gamma \xrightarrow{photoelectric.....effect} Na^+ + e$$

3- تأثير كومبتون Compton effect

بينما لا يحدث التأثير الكهروضوئي الا على الالكترونات المرتبطة بالذرة ارتباطا شديدا، فإنه يمكن أن يحدث تأثير كومبتون على الالكترونات الحرة أو الالكترونات ضعيفة الارتباط بالذرة. و يتلخص هذا التأثير في أنه عند سقوط فوتون طاقته $h\upsilon$ على الكترون حر يكتسب هذا الالكترون جزءا من هذه الطاقة فينطلق بسرعة معينة بينما يفقد الفوتون هذه الطاقة و تصبح طاقته $h\upsilon'$ و يتشتت بالتالي عن مساره. و يبين **الشكل2.6** رسما توضيحيا لهذه العملية.

$$Na + \gamma_{E_1} \xrightarrow{compton.....effect} Na^{+} + e + \gamma_{E_2}$$



الشكل 2.6: رسم تخطيطي لتبعثركومبتون حيث يتغير اتجاه الفوتون الساقط و تنقص طاقته

4- انتاج الأزواج The pair production

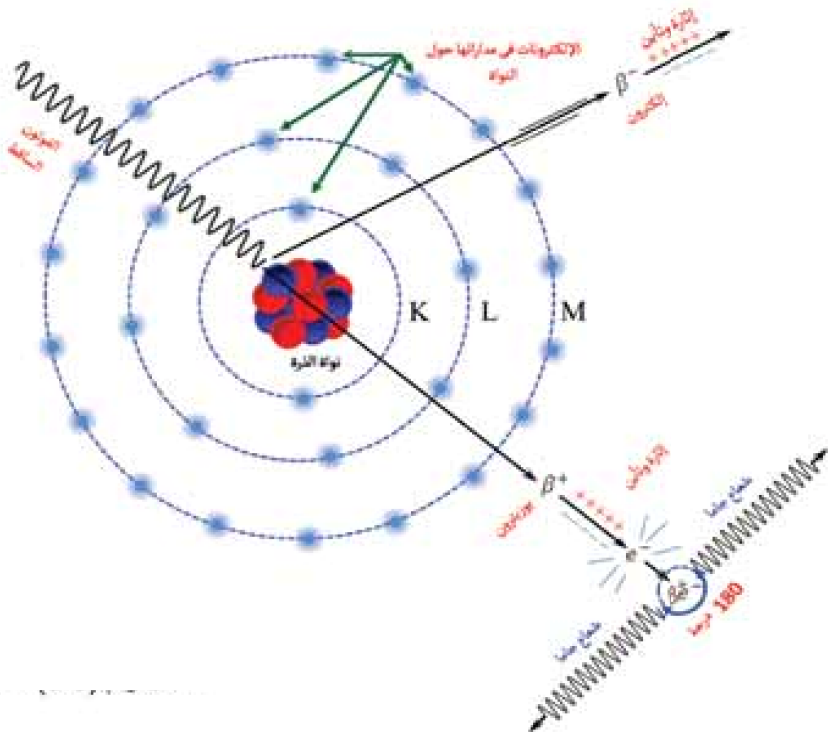
من المعروف أن طاقة السكون للإلكترون هي $m_0c^2 = 0.511MeV$ و عندما تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من ضعف هذه القيمة (أي أكبر من 1.022MeV)، فإنه يحدث تفاعل بين الفوتون الساقط و المجال الكهربائي للنواة ينتج عنه فناء الفوتون و توليد (انتاج) الكترون سالب و بوزيترون موجب ينطلقان بطاقتي حركة T_- و T_+ على الترتيب. و يبين **الشكل3.6** رسما توضيحيا لهذه العملية.

$$Na + \gamma_{E(1.02Mev)} \xrightarrow{pair.....production} Na + \beta^+ + \beta^-$$

$$\beta^+ + \beta^- \xrightarrow{annihilation} 2h\upsilon(1.02Mev)$$

و باستخدام قانون بقاء الطاقة يسهل ايجاد طاقتي الحركة لكل من الالكترون و البوزيترون حيث:

$$h\upsilon - 2m_0c^2 = T_+ + T_- ....(15.5)$$



الشكل 3.6: رسم تخطيطي لعملية انتاج الأزواج و فناء الالكترون و البوزيترون عند اصطدامهما

مثال

إذا كانت طاقة الفوتون الساقط 10MeV فإنه يستغل من هذه الطاقة ما مقداره 1.022MeV في انتاج كتلتي الالكترون و البوزيترون، و تتوزع القيمة الباقية من الطاقة و هي:

$$8.978MeV = 1.022 - 10$$

في شكل طاقة حركية لكل من الالكترون و البوزيترون. و من حيث المبدأ يمكن أن تتوزع الطاقة الباقية بين الالكترون و البوزيترون بنسب مختلفة. و لكن وجد احصائيا أن طاقة البوزيترون تكون أكبر بقليل من طاقة الالكترون لأن البوزيترون يتنافر مع النواة في حين يتجاذب الالكترون معها.

4.2.6 توهين إشعاعات غاما في المادة

عند سقوط حزمة متوازية من اشعاعات غاما و الأشعة السينية على المادة الممتصة يخرج الفوتون الذي يتفاعل مع ذرات المادة بأي من العمليات الثلاث الأخيرة السالفة الذكر من الحزمة وذلك بسبب امتصاص طاقته بالكامل و فنائه (خلال عمليتي التأثير الكهروضوئي و إنتاج الازواج) أو بسبب تشتته أو إنحرافه عن مساره (تأثير كومبتون). بذلك يمكن كتابة العلاقة المعروفة:

$$I = I_0 e^{-\lambda x} \quad ....(15.6)$$

حيث: I_0 شدة الاشعاعات الساقطة على المادة، و I هي شدة الاشعاعات التي اخترقت سمكا من المادة مقداره x، و λ معامل التوهين الخطي و يتعلق بنوع المادة و طاقة الاشعاعات.

3.6 تمارين مقترحة

1- اشرح كيف تنتقل الطاقة من جسيم ألفا إلى المادة، و قارن بينها و بين انتقال الطاقة من الالكترون إلى المادة.
2- أحسب سمك اختراق جسيمات الفا طاقتها 8.78 Mev عند قصفها لوح من الالمنيوم كثافته $5.9g/cm^3$ و وزنه الذري 26.98154؟
3- أحسب مدى جسيمات الفا في الهواء عند انبعاثها من انحلال البولونيوم212 إذا علمت ان الكتل الذرية للبولونيوم 211.98886 وللوليدة 207.97665 ولألفا 4.002603؟
4- كيف تفقد اشعاعات غاما و الاشعة السينية طاقتها في المادة.
5- ما هو التأين النوعي، و كيف يرتبط بقدرة الايقاف؟. و ما هي القيم التقريبية للتأين النوعي لكل من الجسيمات الثقيلة و الالكترونات و إشعاعات غاما.
6- أرسم مسار جسيم بيتا في المادة و علل ما رسمت.
7- كيف تفقد إشعاعات غاما و الأشعة السينية طاقتها في المادة؟
8- عرف التأثير الكهروضوئي و تأثير كومبتون و ما معنى انتاج الازواج؟

7

التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة

1.7 مدخل

يطلق اسم الاشعاعات المؤينة على جميع الاشعاعات النووية كالجسيمات المشحونة الثقيلة و جسيمات بيتا، و الاشعاعات الكهرومغناطيسية (الأشعة السينية و أشعة غاما) الصادرة عن الذرة أو النواة، و النيوترونات و غيرها. فالجسيمات المشحونة الثقيلة و جسيمات بيتا (الالكترونات و البوزترونات) تقوم بتأيين المادة مباشرة عند المرور فيها. أما بالنسبة للإشعاعات غاما و الأشعة السينية، فتنتقل طاقتها أولا إلى الكترونات المادة عن طريق العمليات الثلاثة (التأثير الكهروضوئي و تأثير كومبتون و إنتاج الأزواج) ثم تقوم هذه الالكترونات الثانوية بالتأيين و بالتالي تنتمي هذه الاشعاعات إلى المؤينة و إن كان التأيين يتم بطريقة غير مباشرة و سواء كانت الاشعاعات مؤينة صادرة عن مصدر خارجي أم عن التلوث الداخلي للجسم (internal contamination) بالمواد المشعة فإنها تؤدي إلى تأثيرات بيولوجية في جسم الكائن الحي يمكن أن تظهر في بعد على شكل أعراض إكلينيكية (clinical symptoms) و تعتمد خطورة هذه الأعراض و الفترة الزمنية اللازمة لضهورها على كمية الاشعاعات الممتصة و على معدل الامتصاص.

فما الأضرار التي يمكن أن تنتج عن الاستعمال الموسع للإشعاعات المؤينة، و هل مجرد استعمالها و التعرض لها مهما صغرت الجرعة المكتسبة. لاستنتاج الاجابة عن هاذين السؤالين ينبغي أولا التعرف على كيفية تفاعل الأشعة مع مكونات جسم الإنسان.

ما هو الاشعاع؟

الاشعاع من وجهة النظر اللفيزيائية هو حالة فيزيائية تتواجد فيها أمواج كهرومغناطيسية أو جسيمات تملك صفة موجية لها طاقة معينة في بداية و طاقة أخرى في نهاية تكونه وينتهي الاشعاع عندما تصبح طاقته صفر.

ما هو التأين؟

و هو عملية إزاحة أحد الكترونات الذرة وينتج عنها ما يعرف بالزوج الأيوني، و هو نوعان الأول مباشر (عند القذف الذرة بدقيقة مشحونة أو بفوتونات ذات طاقة عالية) و الثاني غير مباشر (يحدث عند قذف الذرة بجسيمات غير مشحونة مثل النيوترونات لتتولد بذلك جسيمات مشحونة تقوم بعملية التأين). مع العلم أن الأشعة التي طاقتها تتراوح من **100-1000eV** تعد مؤينة.

2.7 فسيولوجية الانسان

يختلف شكل جسم الانسان و حجمه من شخص إلى آخر و يشترك الجميع في تكون أجسامهم من مجموعة أجهزة هي: الجهاز الهضمي (**The digestive system**) و الجهاز التنفسي (**The respiratory system**) و الجهاز الدوري (**The circulatory system**) ...إلخ. حيث يضم كل جهاز عضو أو أكثر، و يتكون العضو من أنسجة، و تتكون الأنسجة من الوحدات البنائية للكائن الحي و هي الخلايا (**The cell**)التي تتكون من نواة يحيط بها سيتوبلازم(cytoplasm)، و مكونات أخرى داخل غشاء الخلية. و تحتوي نواة الخلية الحية على الكروموسومات(chromosomes) ذات الأهمية الوراثية. و تتكون الكروموسومات التي تعتبر تراكيب سسلية طويلة من الجينات (genes) و تحتوي خلية الانسان على 46 كروموسوما. و تتكون الجينات من حامض ديوكسي ريبونيكليك الحمض النووي d-oxyribonucleic acid (DRA) و هو جزيئ كبير يتكون من آلاف الوحدات الصغرى التي تسمى القواعد، وتتكون القواعد من روابط كيميائية بين جزيئات صغيرة و تمثل هذه الجزيئات ذرات مرتبطة ببعضها البعض.

إذا الجسم البشري هو مجموعة هائلة من الذرات المترابطة بطرق مختلفة. و طبقا لأحدث الدراسات فإن جسم الانسان الذي يزن 70Kg يحتوي على حوالي $6.7\ 10^{27}$ ذرة، تنتمي إلى 60 عنصرا كيميائيا. و يوضح **الجدول 1.7** متوسط نسب تلك العناصر في كتلة الجسم. و أما التركيب الجزيئي لكتلة الجسم فيوضحه **الجدول 2.7.**

الجدول1.7 : يوضح متوسط نسب العناصر الكيميائية في كتلة جسم الانسان

العنصر	المتوسط (%)
أكسجين (O)	65
كربون(C)	18
هيدروجين(H)	10
نيتروجين(N)	3
الكالسيوم (Ca)	1.4
الفسفور(P)	1.1
البوتاسيوم(K)	0.25
الكبريت(S)	0.25
الصوديوم(Na)	0.15
أثر عناصر:Sr, Pb, Zn Cu, Fe	0.7

الجدول2.7 : يوضح متوسط التركيب الجزيئي لكتلة جسم الانسان

الجزيئ	المتوسط (%)
الماء	80
البروتينات	15
الدهون	2
كربوهيدرات	1
حمض نووي	1
أنواع أخرى	1

و من ثم فإن تفاعل الأشعة مع الجسم يعني تفاعل الأشعة مع ذرات الجسم وجزيئاته.

3.7 تفاعل الاشعاعات المؤينة مع الجسم

1.3.7 تفاعل الاشعاعات المؤينة مع الخلية

عند سقوط الاشعاعات المؤينة على الخلية فإنها تؤدي إلى تأين بعض مكوناتها و خصوصا جزيئات الماء، الذي يمثل الجزء الأكبر في أية خلية حية. و يؤدي تأين الماء إلى حدوث عدة تغيرات كيميائية قد تؤدي بدررها إلى إحداث تغيرات في وظيفة الخلية. و يمكن أن تظهر نتائج هذه التغيرات في الانسان في شكل أعراض اكلينيكية كالمرض الاشعاعي (radiation sickness)، أو اعتام عدسة العين (cataract) أو الاصابة بالسرطان على المدى الطويل. و هكذا تؤدي الاشعاعات المؤينة إلى اتلاف الخلية من خلال أربع مراحل مختلفة و معقدة و نوجزها في ما يلي:

1- المرحلة الفيزيائية The physical stage

تتم هذه المرحلة خلال زمن قصير جدا (حوالي 10^{-16}s) من لحظة دخول الاشعاع أو الجسيم إلى الخلية. و في هذه المرحلة تنتقل الطاقة من النوع المعين من الاشعاعات إلى جزيئات الماء و هي الجزيئات السائدة بالخلية و يحدث التأين طبقا للتفاعل التالي:

$$photonor\ particle + H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$$

حيث H_2O^+ هو أيون الماء الموجب و e^- هو الالكترون السالب.

2- المرحلة الفيزيوكيميائية The physico-chemical stage

و تتم هذه المرحلة خلال زمن قصير (حوالي 10^{-6}s) بعد حدوث التأين، و يحدث خلالها تفاعل الأيونات الموجبة و السالبة مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذا التفاعل عدة مركبات جديدة. و على سبيل المثال يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب مكونا أيون هيدروجين موجب H^+ و أيون هيدروسيد OH طبقا للمعادلة التالية:

$$H_2O^+ \rightarrow OH + H^+$$

أما الالكترون السالب e^- فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء متعادل مكونا بذلك أيون ماء سالب، أي أن:

$$e^- + H_2O \rightarrow H_2O^-$$

ثم يتحلل هذا الأيون الأخير مكونا الهيدروكسيد السالب أي:

$$H_2O^- \rightarrow H + OH^-$$

و هكذا تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين كل من أيون الهيدروجين الموجب H^+ و أيون الهيدروكسيد السالب OH^- و ذرة الهيدروجين المتعادلة H و جزيء الهيدروكسيد المتعادل OH (أنظر **الشكل1.7**). مع العلم أن أيونات الهيدروجين الموجبة H^+ و أيونات الهيدروكسيد السالب OH^- موجودة دائما في الماء و لا تشترك عموما في احداث تفاعلات تالية. أما بالنسبة للنواتج الأخرى الهيدروجين المتعادل $H^\bullet$ و الهيدروكسيد المتعادل $OH^\bullet$ و التي تعرف بالجذور الحرة فهي معروفة بنشاطها الكيميائي الشديد (نشطة كيميائيا).

و عندئذ يمكن أن تتكون نواتج أخرى و هي:

- فوق أكسيد الهيدروجين السام الذي يعتبر عاملا مؤكسدا قويا و ذلك طبقا للتفاعل التالي:

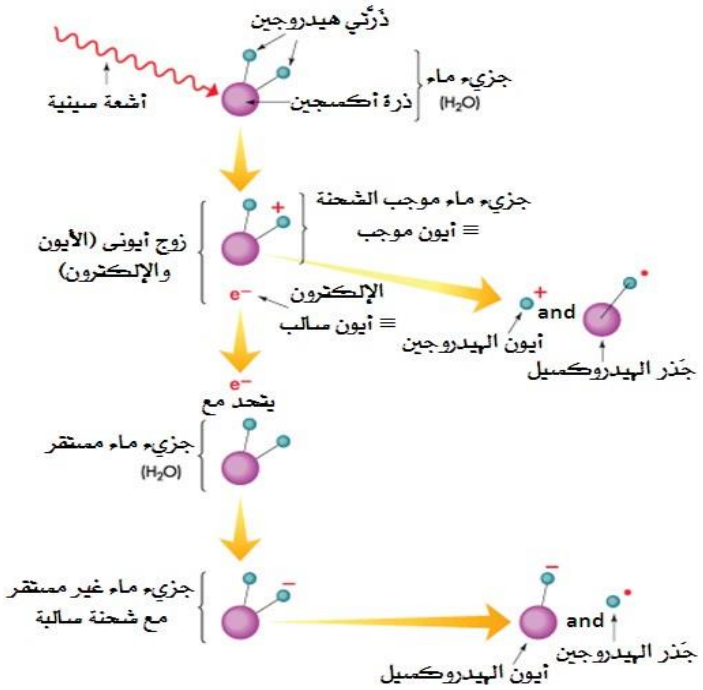
$$OH^\bullet + OH^\bullet \rightarrow H_2O_2 \text{ (Peroxide dimer)}$$

- تكوين جزيء الهيدروجين و ذلك طبقا للتفاعل التالي:

$$H^\bullet + H^\bullet \rightarrow H_2 \quad \text{(Dimer)}$$

- إعادة تكوين جزيء الماء و ذلك طبقا للتفاعل التالي:

$$H^\bullet + OH^\bullet \rightarrow HOH \text{ (Recombination)}$$



الشكل 1.7: يوضح الانحلال الاشعاعي للماء (radiolysis)

3- المرحلة الكيميائية The chemical stage

تستغرق هذه المرحلة عدة ثوان بعد المرحلة السابقة، و يتم خلالها تفاعل نواتج المرحلة السابقة و هي ذرة الهيدروجين $H^{\bullet}$ و جزيء الهيدروكسيد $OH^{\bullet}$ و فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 مع الجزيئات العضوية (organic molecule) المختلفة للخلية.

$$OH^{\bullet} + RH \rightarrow R^{\bullet} + HOH \text{ (transfer of free radicals)}$$

حيث R تمثل أحد الجزيئات البيولوجية، و من ثم يحدث التأثير البيولوجي و ينتج عن ذلك تعطيلا وظيفيا للجزيء أو تعديلا لها.

- و يمكن أن يعدل الأكسجين المذاب في الوسط، التفاعلات الكيميائية، بإنشاء أنواع أخرى من الجذور الحرة تتميز بقدر كبير من الاستقرار و البقاء فترة أطول من الوقت بعد التكوين و ذلك طبقا للتفاعلات التالية:

$$H^{\bullet} + O_2 \rightarrow HO_2^{\bullet} \text{ (hydroperoxy free radical)}$$

$$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow RO_2^{\bullet} \text{ (organic peroxy free radical)}$$

ملاحظة

إن فترة حياة الجذور الحرة البسيطة $H^{\bullet}$ و $OH^{\bullet}$ تكون قصيرة جدا حوالي 0.1ns و حيث أنها تتميز بالقدرة العالية على التفاعل الكيميائي فإنها لا تتحرك بعيدا عن موضع تكونها و من ثم لا تصل إلى نواة الخلية. لكن الأنواع المشتقة بواسطة الأكسجين مثل جذر $HO_2^{\bullet}$ لا يعاد اتحادها بسهولة إلى أشكال محايدة، و تتميز هذه الأشكال الأكثر استقرارا بفترة حياة أطول تكون كافية لوصولها إلى نواة الخلية، حيث يمكن أن تحدث أضرارا جسيمة. ويمكن أن يكون انتقال الجذر الحر إلى جزيء بيولوجي مدمرا بما فيه الكفاية، حيث ينتج عن ذلك كسر الروابط الكيميائية أو تعطيل وظائف أساسية . و يمكن أن ينتقل الجذر الحر العضوي $RO_2^{\bullet}$ من جزيء إلى آخر مسببا تدميرا في كل حالة.

4- المرحلة البيولوجية The biological stage

يتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق و عشرات السنوات، و يبدأ في هذه المرحلة ظهور تأثيرات التغيرات الكيميائية التي حدثت في الخلية. و بعض هذه التأثيرات هي: نتيجة موت الخلية أو منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل انقسامها أو حدوث تغيرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثيا إلى الخلايا الوليدة و تتراوح هذه التأثيرات بين:

a) التأثيرات الحتمية:

تنتج التأثيرات الحتمية للإشعاع نتيجة استنزاف عدد كبير من خلايا الأعضاء أو الأنسجة. ويكون احتمال حدوث هذه التأثيرات معدوما عند الجرعات المنخفضة، إلا أنها تحدث حتما عندما تصل جرعة التعرض إلى حد معين (العتبة). و يمكن القول أن التأثيرات الحتمية لا تحدث إلا عند التعرض لجرعات عالية جدا. و من أمثلة التأثيرات الحتمية المرض الاشعاعي أو تلف الجهاز العصبي (العتبة في النتائج التجريبية 30Gy أي ثلاثون غراي من الأشعة السينية) و إعتام عدسة العين (الكتراكت) و الإريثيما أو احمرار الجلد(العتبة في النتائج التجريبية 3Gy من الأشعة السينية) و غيرها.

b) التأثيرات العشوائية (المتأخرة):

أصبح الآن معلوما أن المرضى الذين تم علاجهم أو تشخيص أمراضهم بجرعات اشعاعية عالية نسبيا معرضون للإصابة ببعض أنواع السرطان، أكثر من غيرهم ممن لم يتعرض للإشعاعات. و لقد دلت الدراسات على المجموعات البشرية التي تعرضت للإشعاعات الناتجة عن القنابل الذرية أو عن الحوادث النووية أو عمال مناجم اليورانيوم أو العاملين بالإشعاعات المؤينة إلى تأكيد قدرة الاشعاعات على تكوين السرطانات المتنوعة خلال مدة تتراوح بين 5 و 30 سنة من وقت التعرض ومهما قلت الجرعة.

1.(b معامل المخاطر The risk factor

لتقييم احتمال الاصابة بالتأثيرات العشوائية استخدم العلماء مصطلح معامل المخاطر. ويقصد بهذا المعامل احتمال الاصابة بالمرض العشوائي عند التعرض لجرعة اشعاعية محددة. و بالنسبة للأمراض السرطانية مثلا فإن معامل المخاطر هو احتمال اصابة الفرد بالسرطان عند تعرضه لجرعة مقدارها 1Sv(100rem). لذلك يقاس معامل المخاطر (p) بوحدة 1/Sv. و يبين **الجدول 3.7** معامل المخاطر السرطانية المختلفة عند التعرض لجرعة اشعاعية فعالة مقدارها 1 سيفرت طبقا لنموذجين من نماذج التقويم، و هما النموذج الضربي و نموذج المعهد القومي للصحة بالولايات المتحدة الامريكية (NIH)، حيث تتقارب نواتج معامل المخاطر للنموذجين.

الجدول3.7 : يوضح تقويم مخاطر الاصابة السرطانية طبقا النموذج الضربي و نموذج المعهد القومي للصحة بالولايات المتحدة الامريكية(NIH)

الدولة	احتمال الاصابة لكل 1 سيفرت	
	النموذج الضريبي	نموذج المعهد الوطني للصحة
اليابان	0.102	0.093
الولايات المتحدة	0.112	0.087
برتريكو	0.095	0.102
المملكة المتحدة	0.129	0.097
الصين	0.063	0.060
متوسط الاحتمال	0.100	0.088

ملاحظة

عندما تتعرض مجموعة بشرية عدد افرادها n لجرعة فعالة متساوية مقدارها E_n لكل فرد، يمكن تعريف قيمة الجرعة الجماعية E_c هي نفسها الجرعة الفردية و نكتب: $E_c = E_n$

و لإيجاد احتمال الاصابة بالسرطان بين هذه المجموعة (اي عدد الاصابات السرطانية بين المجموعة N) تستخدم العلاقة التالية:

$$N = n\ p \ldots.(1.6)$$

مثال

يتعرض 1000عامل في مختبر اشعاعي لجرعة فعالة سنوية وقدارها 20m Sv. أحسب عدد الحالات التي تصاب بالسرطان المميت بين هذه المجموعة طبقا للنموذج الضربي، علما أن كل فرد من هؤلاء العمال يعمل لمدة 40 عاما في نفس الظروف الاشعاعية.

الحل

- أولا نحسب اجمالي الجرعة التي يتعرض لها الشخص الواحد طوال 40 عاما:

$$En = 20\ (mSv / year) \times 40\ (year)$$

$$\rightarrow En = 800\ (mSv) = 0.8\ (Sv)$$

- ثانيا نحسب احتمال اصابة العامل الواحد p_1 طبقا للنموذج الضربي:

$$p_1 = 0.8\ (Sv) \times 0.1$$

$$\rightarrow p_1 = 0.08 \quad = 8\%$$

و منه عدد العاملين N_1 الذين يصابون بين المجموعة هو:

$$N1 = 0.08 \times 1000$$

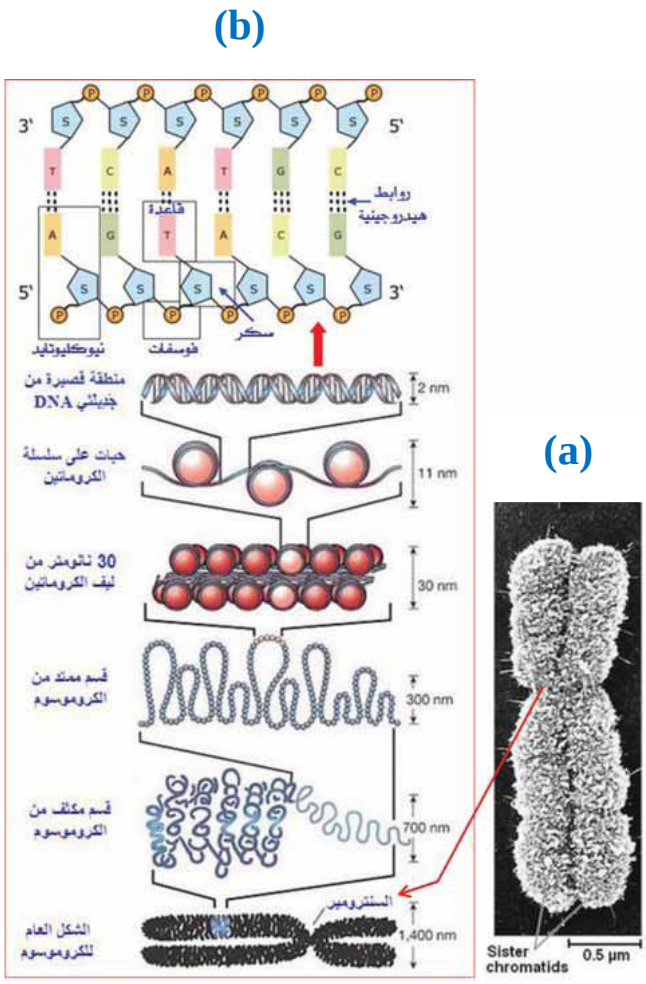
$$\rightarrow N1 = 80(wor\ ker\ s)$$

2.3.7 أضرار الغشاء الخلوي المستحثة بالإشعاع

يعمل الغشاء البيولوجي كوسيط نوعي عالي الكفاءة بين الخلية و البيئة المحيطة. فالتغيرات التي تحدث في البروتينات التي تشكل جزءا من هيكل الغشاء يمكن ان تسبب تغيرات في نفاذيته للجزيئات المختلفة مما يترتب عليه الكثير من المخاطر. فمثلا في حالة الخلايا العصبية، تؤثر هذه التغيرات على قدرة الخلية في توصيل النبضات الكهربائية، كما أن الاشعاع المؤين يلعب دورا في اتلاف غشاء البلازما و الذي قد يكون عاملا مهما في موت الخلايا.

3.3.7 أضرار الكروموسومات المستحثة بالإشعاع

الحمض النووي (DNA) هو المادة الأكثر أهمية التي تكون الكروموسومات (الصبغيات) و هو جزيئي كبير يحتوي على المعلومات الجينية. و يأخذ جزيئ DNA شكل سلم ملتوي أو حلزوني مزدوج double helix جانبي السلم بمثابة جدائل strands لمجموعة متناوبة من السكر و الفوسفات، وتتفرع من كل مجموعة سكر أربع قواعد نيتروجينية: السيتوزين cytosine (C) و الثايمين thymine (T) و الجوانين guanine (G) (أنظر **الشكل2.7**).



الشكل 2.7: (a) يوضح الشكل العام للكروموسوم بعد التكبير. (b) يوضح رسم تخطيطي لمكونا ت الكروموسوم من الشكل العام إلى الحلزون المزدوج لـ DNA

و توجد أدلة كثيرة تشير إلى الحمض النووي DNA هو المسؤول الرئيسي على تلف الخلايا عند التعرض للأشعة المؤينة نظرا لما يتميز به من حساسية تجاهها (مثل قتل الخلية و الطفرات و التحول السرطاني)، و من أهم الأضرار التي تلحق به هي:

1- تكسر الكروموسومات إلى أجزاء أصغر main-chain scission

مما يقلل من لزوجة نواة الخلية، و يؤدي إلى وجود جزيئات جديدة غير محددة الوظيفة في الخلية، ومن ثم فإن الأشعة المؤينة تسبب تشوهات هيكلية مع قطع من نواتج كسر الكروموسومات و تكوين أشكال شاذة غير معروفة. و التقسيم غير المتساوي لمواد الصبغيات النووية بين الخلايا الوليدة يؤدي إلى إنتاج أنوية غير طبيعية لا تستطيع الحياة. و هكذا تبدأ آثار الأشعة بالضهور في الجيل الثاني أو الثالث لخلايا النسيج.

2- استحداث تشابك (مد جسور للربط) بين مناطق بعيدة cross-linking

مما يقلل أيضا من لزوجة نواة الخلية، و يمنع نسخ المعلومات الوراثية.

3- أضرار أو إصابات نقطية point lesions

لا يمكن الكشف عن هذه الاصابات النقطية مبكرا، و لكنها يمكن أن تسبب تعديلات طفيفة على الجزيء، ينتج عنها الخلل في وظيفة الخلية. و لذلك عند الجرعات الاشعاعية المنخفضة، تعتبر هذه الاصابات الأكثر احتمالا على مستوى الخلية و من ثم تؤدي إلى التأثيرات المتأخرة للإشعاع على مستوى الجسم كله. و لقد أثبتت التجارب أن عملية الاصلاح عملية معقدة و ترتبط بخطورة الخلل الذي حدث.

4.7 تمارين مقترحة

1- اشرح وسائل دخول المواد المشعة لأعضاء الجسم المختلفة.

2- اشرح المراحل الأربعة لحدوث التلف الاشعاعي للخلية.

3- ما هي التأثيرات المبكرة للإشعاعات على الانسان.

4- ناقش مدى خطورة الجرعات المختلفة من 1 إلى 10 جراي على الانسان.

5- ما هي التأثيرات المتأخرة للإشعاعات. و كيف يمكن تقدير احتمال الاصابة بهذه التأثيرات.

6- ما هو معامل الخطورة للإصابة السرطانية. و ما هو مقداره للنماذج المختلفة.

7- أحسب عدد المهددين بالإصابة بالسرطان نتيجة حادث نووي، أدى إلى تعرض 600000 فرد بواقع 10 مللي سيفرت لكل منهم إذا كان معامل المخاطر هو $6\ 10^{-2}$ لكل سيفرت. (الحل 360 إصابة سرطانية مميتة).

8

وحدات قياس الجرعات الإشعاعية و تحديدها

1.8 مدخل

عند سقوط كمية من الاشعاعات الضوئية او الحرارية على مادة ما تنتقل طاقة هذه الاشعاعات إلى المادة فتزداد درجة حرارتها. أما بالنسبة للكائنات الحية (بما فيها الانسان) فلا ترتفع درجة حرارتها نظرا لقيام جسم الكائن الحي بفقد هذه الطاقة الممتصة في تبخير الماء من الجسم، فتبقى حرارته ثابتة. و مع ذلك يحس الانسان بالإشعاعات الضوئية و الحرارية، و بذلك يستطيع تفاديها بالابتعاد عن مصادرها. أما بالنسبة للإشعاعات المؤينة فلا تحس بها الكائنات الحية على الاطلاق، و ذلك نظرا لقدرتها العالية على اختراق جسم الكائن الحي و فقدها طاقتها عن طريق تأيين جزيئات الماء الموجودة في الجسم. فعند تعرض جسم الكائن الحي من الاشعاعات السينية او اشعاعات غاما او الجسيمات النووية فانه لا يحس بها في حينه مهما زادت كميتها.

لذلك فإنه لوقاية الكائنات الحية عموما بما فيها الانسان من التعرض للإشعاعات المؤينة يجب الكشف عن وجودها و تحديد كمياتها و مستوياتها الاشعاعية في جميع الاماكن التي يمكن ان توجد فيها. و يختص هذا الفصل بالتعرف على الوحدات المستخدمة لقياس كميات الاشعاعات (المستويات الاشعاعية).

2.8 وحدات قياس الجرعات الاشعاعية

ان انسب طريقة لقياس كمية الاشعاعات التي يتعرض لها جسم الكائن الحي (اي التعرض) هي قياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن تأين الهواء في هذه الظروف. لذلك فقد اتفق على اعتبار التعرض هو عبارة عن كمية التأين الناتجة عن الاشعاعات السينية او اشعاعات غاما في وحدة الحجوم (اي $1cm^3$) من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية (اي عند درجة حرارة الصفر المطلق و ضغط مقداره 760 ملليمتر زئبقي).

1.2.8 الرينتجن Roentgen (R) وحدة قياس التعرض

يقاس التعرض (كمية الاشعاعات المؤينة التي يتكبدها عضو أو نسيج أو الجسم ككل) بوحدة تعرف بالرينتجن Roentgen (R) تخليدا لذكرى العالم الذي اكتشف الأشعة السينية. و قد تم تعريف الرينتجن (R) في أول الأمر على أنه كمية طاقة الاشعاعات السينية (أي التعرض) التي تؤدي إلى انتاج شحنة

كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها جزء واحد من الكولوم و $1cm^3$ من الهواء الجاف عند الظروف الجوية المعيارية و نكتب:

$$1R = 0.00876 \quad joules/Kg$$

و على الرغم من أن وحدة الرينتجن ما زالت مستخدمة في بعض الأحيان، إلا أن هذه الوحدة ليست كافية لأنها لا تنطبق سوى على الاشعاعات السينية و اشعاعات غاما منخفضة الطاقة عند مرورها في الهواء الجاف. و لما كان الهدف الرئيسي هو وقاية جسم الانسان و الكائنات الحية الأخرى من الاشعاعات المؤينة، و نظرا لاختلاف امتصاص الطاقة في أنسجة الجسم عنه في الهواء، فإنه يجب ايجاد العلاقة التي تحول تعرض الهواء الجاف إلى ما يكافئه من تعرض الأنسجة البشرية. و قد وجد أن الطاقة الممتصة في الجسم البشري عن تعرض مقداره 1 رينتجن هي 0.0096 j/Kg.

2.2.8 الراد (The rad) و الغراي (The gray) وحدات حساب الجرعة الممتصة

نظرا لأن التعرض يقتصر على الأشعة السينية و اشعاعات غاما و على الهواء الجاف كوسط تنتقل إليه طاقة الاشعاعات، و رغم وجود معامل تحويل من طاقة منقولة للهواء إلى طاقة منقولة للجسم البشري، فقد تم استخدام كمية فيزيائية جديدة تعبر عن انتقال الطاقة من جميع أنواع الاشعاعات و عند جميع طاقاتها و لجميع أنواع المواد المتعرضة لهذه الاشعاعات و تعرف الكمية الجديدة باسم الجرعة الاشعاعية الممتصة.

1- الراد (rad) الوحدة القديمة لحساب الجرعة الممتصة

يعرف الراد على أنه عبارة عن انتقال كمية من الطاقة مقدارها 10^{-5} جول (100إرغ أو 100erg) لكل غرام من المادة عند مرور الاشعاعات فيها و نكتب:

$$1rad = 0.01 \ joule / Kg$$

2- الغراي (Gy) وحدة الجرعة الممتصة (D) في النظام المعياري

طبقا لنظام الوحدات المعيارية الدولية (SI) فقد استخدمت وحدة جديدة لقياس الجرعة الممتصة هي الغراي (Gray-Gy) نسبة إلى العالم الفيزيائي غراي الذي كان أول من أوجد الطرق العملية الدقيقة لقياس الجرعة الممتصة. و الغراي هو جرعة من الطاقة الممتصة مقدارها واحد جول لكل كيلوغرام من المادة أي أن: $1Gy = 1 \ joule / Kg = 100 \ rad$

ما العلاقة بين الرينتجن و الراد و الغراد؟

في الهواء: $1R = 0.876 \ rad = 0.00876 \ Gy$

في جسم الانسان: $1R = 0.96 \ rad = 0.0096 \ Gy$

لكن يجب أن يؤخذ في الحسبان أن الرينتجن قد حدد أساسا بالنسبة للإشعاعات السينية و إشعاعات غاما أم الراد و الغراي فتشمل جميع الاشعاعات.

4.2.8 الرم (The rem) و السيفرت (The sievert) وحدات قياس الجرعات المكافئة H_T

لقد تبين أن التأثير البيولوجي على جسم الانسان، الناتج عن نفس مقدار الجرعة الممتصة يختلف اختلافا شديدا باختلاف نوع الاشعاعات. فمثلا يلاحظ أن التأثير البيولوجي الناتج عن جرعة مقدارها 1 غراي (100 راد) من النيوترونات السريعة أكبر بمقدار عشرين مرة من التأثير الناتج عن الجرعة نفسها من الأشعة السينية. حيث يبين **الجدول1.8** قيم العامل للمرجح للإشعاع (The radiation weighting factor) W_R لبعض الاشعاعات عند طاقات مختلفة، و تحدد الجرعة المكافئة (Dose equivalent man) (H_T) من العلاقة التالية:

$$H_T = \sum_R W_R D_R \quad \ldots (1.8)$$

الجدول1.8 : يوضح قيم المعامل المرجح للإشعاع W_R للإشعاعات و الطاقات المختلفة

نوع الاشعاعات و طاقاتها	قيم العامل المرجح للإشعاع W_R
الأشعة السينية و أشعة غاما (جميع الطاقات)	1
الالكترونات جميع الطاقات	1
النيوترونات (طاقة أقل من 10KeV)	5
النيوترونات (طاقة من 10KeV إلى 100KeV)	10
النيوترونات (طاقة من 100KeV إلى 2000KeV)	20
النيوترونات (طاقة من 2MeV إلى 20MeV)	10
النيوترونات (طاقة أكبر من 20MeV)	5
البروتونات	10
جسيمات ألفا و شظايا الانشطار و النوى الثقيلة	20

1- الرم (rem) الوحدة القديمة لحساب الجرعات المكافئة(H_T)

هي الوحدة القديمة لقياس الجرعة المكافئة للنسيج عندما يعبر عن الجرعة الممتصة بوحدة الراد و هذا وفق **العلاقة 1.8**.

2- السيفرت (Sv) وحدة الجرعة المكافئة (H_T) في النظام المعياري

هي وحدة قياس الجرعة المكافئة في النظام المعياري الدولي للوحدات، حيث تكون الجرعة المكافئة بوحدة السيفرت عندما يتم التعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة الغراي و هذا وفق **العلاقة 1.8**.

مثال:

في إحدى السنوات تعرضت رئتا أحد العاملين في مختبر نووي للجرعات التالية: 0.02Gy (2rad) نيوترونات حرارية (أي بطاقة أقل من 10KeV)، 0.05Gy (5rad) نيوترونات بطاقة 14MeV)، 0.8Gy (8rad) إشعاعات غاما،

- أحسب الجرعة المكافئة في رئتي هذا العامل عن تلك السنة

الحل

بتطبيق **العلاقة 1.8** و تحديد العامل المرجح من **الجدول 1.8** و التعبير عن الجرعة الممتصة بالغراي نتحصل على الجرعة المكافئة بالسيفرت كالتالي:

$$H_T = \sum_R W_R D_R$$
$$\rightarrow H_T = 1.4\ Sv$$

و عند التعبير عن الجرعة الممتصة بالراد نتحصل على الجرعة المكافئة بالرم كالتالي:

$$H_T = \sum_R W_R D_R$$
$$\rightarrow H_T = 140\ rem$$

5.2.8 الرم (The rem) و السيفرت (The sievert) أيضا وحدات لقياس الجرعة الفعالة E

يعتمد احتمال الاصابة بالتأثيرات العشوائية للإشعاع (كالسرطان و التأثيرات الوراثية) على نوع العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع فبعض الأعضاء و الانسجة البشرية تتعرض للإصابة الناتجة عن الاشعاع أكثر من غيرها عند تساوي مقدار الجرعة المكافئة. و لحساب احتمال اصابة الجسم البشري بهذه التأثيرات فإنه يجب تحديد مدى اسهام كل عضو من أعضاء و أنسجة الجسم في هذا الاحتمال عند تساوي الجرعات في هذه الأعضاء. لذلك وجب وزن الجرعات المكافئة للأنسجة و الأعضاء البشرية بمعامل خاص يطلق عليه العامل المرجح للنسيج أو العضو (The tissue weighting factor) W_T حيث يبين **الجدول2.8** قيم العوامل المرجحة للنسيج أو العضو. أوصت اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية باستخدام مصطلح الجرعة الفعالة(The effective dose) و التي يرمز لها E بدل الجرعة المكافئة (H_T) و تحدد الجرعة الفعالة من العلاقة التالية:

$$E = \sum_T W_T H_T \quad ....(2.8)$$

ملاحظة

- تقاس الجرعة الفعالة E بنفس الوحدات المستخدمة لقياس الجرعة المكافئة ، و هي السيفرت في النظام المعياري الدولي و الرم في نظام الوحدات القديمة.
- هناك كمية أخرى تعرف بالجرعة الفعالة الجماعية و هي عبارة عن مجموع الجرعات الفعالة التي تودع في مجموعة بشرية محددة، و عند تساوي متوسط الجرعة الفعالة التي تودع في كل فرد من المجموعة (عددها n) تكون الجرعة الفعالة الجماعية هي:

$$E_C = E \times n \quad ....(3.8)$$

الجدول2.8 : يوضح قيم المعامل المرجح W_T لأعضاء الجسم البشري

العضو أو النسيج	قيم العامل المرجح W_T
الغدد	0.2
النخاع العظمي	0.12
الرئتين	0.12
المعدة	0.12
الكبد	0.05
الاثني عشر	0.05
الجلد	0.01
سطح العظام	0.01
باقي الجسم	0.05

ما العلاقة بين السيفرت و الرم؟

$$1\,Sv = 100\,rem$$

6.2.8 الرم لوحدة الزمن و السيفرت لوحدة الزمن وحدات لقياس معدل الجرعة D^*

تعبر وحدات الغراي و السيفرت أو الراد و الرم بالترتيب، عن مقدار الجرعة الممتصة و الجرعة المكافئة أو الفعالة التي حصل عليها عضو أو شخص ما خلال مدة زمنية معينة t. و لتقدير قيمة الجرعة التي يتعرض اليها الشخص خلال زمن معين فإنه يجب معرفة ما يسمى بمعدل الجرعة. و معدل الجرعة D^* في مكان ما هو قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو أو الانسان في وحدة الزمن، عند وجوده في هذا المكان، أي أن:

$$D = D^* \times t \quad .....(4.8)$$

مثال:

إذا كانت الجرعة الفعالة المسموح بها في الأسبوع هي 0.4mSv. فاحسب الزمن الذي يسمح خلاله لشخص ما بالوجود داخل مختبر في الاسبوع إذا كان معدل الجرعة الفعالة داخل هذا المختبر هو 100µSv/h.

الحل:

لدينا: $D=D^{*}\times t$ ، الزمن المسموح به لوجود الشخص داخل المخبر خلال الأسبوع كله هو:

$$t = D/D^{*} = 0.4\times10^{-3}/100\times10^{-6} = 4\ h$$

3.8 حساب معدل جرعة التعرض الخارجي من مصادر مشعة

1.3.8 حساب معدل جرعة التعرض الخارجي من مصادر بيتا

نفرض أن لدينا مصدرا رقيقا من جسيمات بيتا حتى يهمل الامتصاص الذاتي للمصدر. و أن كثافة تدفق جسيمات بيتا في النقطة المطلوب تحديد معدل الجرعة عندها هي $\Phi(1/cm^2s)$ (جسيم/سم^2 ثانية) و أن طاقة هذه الجسيمات هي E (MeV)(ميغا إلكترون فولط) عندئذ يكون تدفق الطاقة هو و $E\Phi$لو تصورنا مكعبا من الماء النسيج المكافئ طول ضلعه 1cm لكان تدفق الطاقة عبر الوجه الأول هو $E\Phi$ و كان صفرا عبر الوجه المقابل (الجسيمات تفقد كل طاقتها عبر المكعب) و منه يعرف معدل انتقال الطاقة من الجسيمات إلى المكعب من الماء الذي كثافته $1(g/cm^3)$ (الجرعة الممتصة) على أنه $E\Phi(MeV/gs)$ و مع العلم أن $1mrad=6.25\ 10^4 MeV/g$ يكون معدل الجرعة الممتصة:

$$D^{*} = \phi E(MeV/gm.s) \div 6.25\ \ 10^{4}(MeV/gm.mrad) \quad ....(5.8)$$

$$\rightarrow D^{*} = \phi E\ \ 1.6\,10^{-5}(mrad/s) \quad ....(6.8)$$

و بالانتقال من الثانية إلى الساعة يكون المعدل D^{*} هو: $D^{*} = \phi E\ \ 1.6\,10^{-5}\times3600$

$$\rightarrow D^{*} = \phi E\ \ 0.0576\ \ (mrad/hour) ....(7.8)$$

و حيث أن المعامل المرجح لجسيمات بيتا $W_R = 1$فإنه يمكن تحديد معدل الجرعة المكافئة كالتالي:

$$H^{*} = \phi E\ \ 0.0576\ \times1\ \ (mrem/hour)$$

أي أن:

$$\rightarrow H^{*} = \phi E\ \ 0.576\ \ (\mu Sv/hour) \quad ....(8.8)$$

مثال

أحسب معدل الجرعة الممتصة الناتجة عن مصدر بيتا، إذا علمت أنه عند تسجيل جسيمات بيتا بواسطة عداد غايغر ميولر ذو النافذة كان معدل العد هو 40000 جسيم في الدقيقة، و أن قطر النافذة الدائرية هو 3cm و أنه يمكن إعتبار متوسط طاقة هذه الجسيمات 1MeV.

الحل: نحسب أولا مساحة النافذة S:

$$S = \pi R^2 = 7.07 cm^2$$

و بإهمال الامتصاص في النافذة يمكن إيجاد كثافة التدفق Φ عند النافذة كالتالي:

$$\phi = \frac{A}{S} = \frac{40000}{7.07} = 5658 \left(particles / cm^2 Min \right)$$

$$\phi = = 5658/60 = 94.3 \left(particles / cm^2 \sec \right)$$

و بالتالي يتم حساب معدل الجرعة الممتصة D^*:

$$D^* = \phi E \quad 0.0576 \quad (mrad/h)$$

$$\rightarrow D^* = 94.3 \times 1 \quad \times 0.0576 \quad = 5.46 \quad (mrad/h)$$

2.3.8 حساب معدل جرعة التعرض الخارجي من مصادر غاما

إن الفرق الجوهري بين معدل جرعة التعرض من مصادر بيتا و غاما هو أنه عند اجتياز الطاقة لوحدة المسافة من الوسط المادي ينتقل جزء فقط من هذه الطاقة إلى هذا الوسط المادي (بينما كان الانتقال كليا في حالة مصادر بيتا). و تعتمد كمية الطاقة المنتقلة للوسط على طاقة اشعاعات غاما الساقطة و على نوع هذا الوسط. و لتحديد كمية الطاقة المنتقلة إلى وحدة الحجم يمكن استخدام البيانات الواردة في **الجدول3.8** فإذا كانت طاقة اشعاعات غاما مساوية 1MeV، يكون معامل الامتصاص الكتلي في النسيج العضلي يكافئ الماء تقريبا و أن كثافة الماء $1(g/cm^3)$ يكون معدل انتقال الطاقة لوحدة الحجم من جسم الانسان $0.031E\Phi(MeV/gs)$ و مع العلم أن $1mrad=6.25\ 10^4 MeV/g$ يكون معدل الجرعة الممتصة:

$$D^* = 0.031 \phi E \left(MeV / gm.s \right) \ \div \ 6.25 \quad 10^4 \left(MeV / gm.mrad \right) \quad ....(9.8)$$

$$\rightarrow D^* = \phi E \quad 4.96 10^{-7} \left(mrad / s \right) \quad ....(10.8)$$

و بالانتقال من الثانية إلى الساعة يكون المعدل D^* هو:

$$D^* = \phi E \;\; 1.6\,10^{-5} \times 3600$$

$$\rightarrow D^* = \phi E \;\; 0.00179 \;\; (mrad/hour) \;\; ....(11.8)$$

و حيث أن المعامل المرجح لإشعاعات غاما $W_R = 1$ فإنه يمكن تحديد معدل الجرعة المكافئة كالتالي:

$$H^* = \phi E \;\; 0.00179 \times 1 \;\; (mrem/hour)$$

أي أن:

$$\rightarrow H^* = \phi E \;\; 0.0179 \;\; (\mu Sv/hour) \;\; ....(12.8)$$

و في حالة المصادر النقطية يحسب التدفق Φ من العلاقة: $\phi = \frac{A}{4\pi R^2}$ و بالتعويض في **العلاقة (12.8)** نجد:

$$\rightarrow H^* = AE \;\; 0.142 \;\; / R^2 (\mu Sv/hour) \;\; ....(13.8)$$

الجدول3.8: قيم معامل الامتصاص و السمك النصفي ، للأنسجة و العظام البشرية عند بعض الطاقات

الطاقة MeV	السمك النصفي		معامل الامتصاص الكتلي	
	نسيج عضلي cm	عظام cm	نسيج عضلي cm^2/g	عظام cm^2/g
0.01	0.13	0.019	4.87	19.20
0.02	0.95	0.14	0.533	2.46
0.03	2.02	0.41	0.154	0.72
0.04	2.98	0.78	0.070	0.304
0.05	3.19	1.15	0.043	0.161
0.06	3.54	1.45	0.033	0.100
0.08	3.84	1.88	0.026	0.054
0.1	4.06	2.14	0.026	0.039
1.0	9.9	5.58	0.031	0.030
10.0	31.3	16.3	0.016	0.016

هاتان العلاقتان الأخيرتان (العلاقة 8-12 و 8-13) صحيحتان عندما يصدر النظير المشع فوتونات بطاقة واحدة، إلا أنه من المعلوم أن النظائر المشعة يمكن أن تصدر فوتونات غاما بأكثر من قيمة واحدة للطاقة. لذا يعرف المعامل f للخط و هو عبارة عن نسبة عدد فوتونات غاما المنطلقة بطاقة معينة لكل 100 تفكك من تفككات النظير.

مثال

عندما تتفكك 1000 نواة سيزيوم 137 من خلال التفكك بيتا الى الباريوم 137 ينبعث من هذا العدد من نوى الباريوم 852 فوتونا بطاقة 662KeV. لذلك يقال أن القيمة f لهذا الخط هي 0.852 أي 85.2%.

$$\rightarrow H^{*}=\left(0.142\,A\ /R^{2}\right)\sum_{i} f\ E_{i}(\mu Sv/hour)\ \ ....(14.8)$$

نعرف ς معامل غاما النوعي للنظير (**الجدول4.8**) حيث:

$$\varsigma\ =\ 0.142\ \sum_{i} f\ E_{i}....(15.8)$$

و منه معدل الجرعة المكافئة:

$$\rightarrow H^{*}=A\ \varsigma\ /R^{2}(\mu Sv/hour)\ \ ....(16.8)$$

الجدول4.8: معامل غاما النوعي لبعض النظائر المشعة

النظير	معامل غاما النوعي	النظير	معامل غاما النوعي
صوديوم 22	0.324	**ثاليوم170**	0.034
كوبلت60	0.356	**إيريديوم192**	0.013
تكنيشيوم99	0.022	**ذهب198**	0.063
يود131	0.059	**راديوم226**	0.224

مثال1

أحسب معدل الجرعة المكافئة الناتج على مسافة قدرها 150cm من مصدر سيزيوم137 نشاطه الاشعاعي 20Ci، إذا علمت أن طاقة إشعاعات غاما للمصدر هي 662KeV.

الحل

طاقة إشعاعات غاما بالميغا إلكترون فولت هي:

$$E = 662 \ 10^{-3} = 0.662 \ (MeV)$$

النشاط الاشعاعي للمصدر بـ MBq هو:

$$A = 20 \ 3.7\,10^{10} / \ 10^{6} = 7.4\,10^{4} (MBq)$$

و في حالة المصادر النقطية: $\phi = \frac{A}{4\pi R^2}$، و عليه لحساب معدل الجرعة المكافئة نستخدم **العلاقة13.8**:

$$\rightarrow H^* = AE \ 0.142 \ / R^2 = 7.4\,10^4 0.662\,0.142/1.5^2 = 30917 (\mu Sv/hour)$$

مثال2

أحسب معدل الجرعة المكافئة الناتج على مسافة قدرها 2m من مصدر كوبلت60 نشاطه الاشعاعي 1Ci، إذا علمت أن كل تفكك لنواة كوبلت60 يصدر فوتونين أحدهما بطاقة إشعاعات غاما 1.173MeV و الآخر بطاقة 1.332MeV.

الحل

النشاط الاشعاعي للمصدر بـ MBq هو:

$$A = 1 \ 3.7\,10^{10} / \ 10^{6} = 3.7\,10^{4} (MBq)$$

باستخدام **العلاقة13.8**:

- معدل الجرعة المكافئة للطاقة 1.173MeV

$$\rightarrow H^* = 3.7\,10^4 1.173\,0.142/2^2 = 1541 (\mu Sv/hour)$$

- معدل الجرعة المكافئة للطاقة 1.332MeV

$$\rightarrow H^* = 3.7\,10^4 1.332\,0.142/2^2 = 1750 (\mu Sv/hour)$$

و منه معدل الجرعة الكلي:

$$H_t^* = 1541+1750 = 3291 (\mu Sv/hour) \ = 3.29 (mSv/hour)$$

و يمكن حساب نفس المعدل باستخدام معامل غاما النوعي مباشرة باستخدام **العلاقة16.8**

$$\rightarrow H^{*} = A\ \varsigma\ / R^{2} \quad = 3.7\,10^{4} 0.356/2^{2} = 3293(\mu Sv/hour)$$

مثال3

أحسب معامل غاما النوعي للكوبلت60 إذا علمت أن النيكل60 (النواة الوليدة للكوبلت) يصدر فوتونات غاما بطريقتين هما 1173، 1332KeV و بنسبة تفرع 100% و 99.9% بالترتيب:

$$\varsigma = 0.142 \sum_{i} f\ E_{i}$$
$$= 0.142(1\times 1.173 + 0.999\times 1.332)$$
$$= 0.356(\mu Sv/hour)(m^{2}/MBq)$$

3-8 تمارين مقترحة

1- في أحد المختبرات النووية وضع فنيو الوقاية المعدلات التالية للتعرض:

- نيوترونات بطاقة 1-2MeV بواقع 2mrad/h.
- نيوترونات بطيئة بواقع 50µrad/h.
- اشعاعات غاما بواقع 4mR/h.

أحسب الجرعة المكافئة بالسيفرت التي تتعرض لها أنسجة عامل مكث في المخبر سبع ساعات.

2- في أحد المختبرات الملوثة بمادة الراديوم المشع كانت قراءات أجهزة قياس الجرعات كالتالي:

- جسيمات بيتا 0.5mrad/h
- اشعاعات غاما 0.16µR/min

أحسب الجرعة المكافئة بالسيفرت التي تتعرض لها رئتي عامل مكث في المخبر ثلاث ساعات.

3- أحسب معدل الجرعة المكافئة الناتج على مسافة قدرها 60cm من مصدر فسفور32 إذا علمت أنه عند تسجيل هذه الجسيمات على بعد 30cm من المصدر بواسطة عداد غايغر قطر نافذته 2cm كان معدل العد 3000جسيمة في الدقيقة.

4- أحسب معدل الجرعة الناتجة على مسافة قدرها 40cm من مصدر سترونشيوم90 (مصدر بيتا) نشاطه الاشعاعي 3mCi، إذا علمت أن طاقة إشعاعات غاما للمصدر هي 662KeV.

5- إذا علمت أن السيزيوم 137 يتفكك إلى الباريوم 137 الذي يصدر فوتونات غاما بطاقة 662KeV . أحسب معامل غاما النوعي للسيزيوم137.

9

الحماية من الاشعاع و تشريعات الحماية

1.9 مدخل

منذ عشرات السنين ظهرت عدة مصادر إشعاعية مصنعة ساهمت في رفع الجرعة الفعالة الجماعية لعموم البشر و يبين **الجدول1.9** متوسط الجرعة المكافئة السنوية نتيجة بعض المصادر الاشعاعية:

الجدول1.9: يوضح متوسط الجرعة المكافئة السنوية نتيجة بعض المصادر الاشعاعية

	المصدر	متوسط الجرعة المكافئة السنوي
1	الأشعة التشخيصية	0.7
2	أشعة العلاج	0.3
3	استخدام النظائر المشعة في الطب	0.02
4	النفايات المشعة	0.02
5	تساقط الغبار الذري	0.07
6	السكن بالقرب من محطة نووية	0.05
7	مصادر أخرى	0.04

الأمر الذي رفع من الأخطار الناتجة عن جميع الاشعاعات و الجسيمات المؤينة، باستثناء جسيمات ألفا، فقدرة هذه الجسيمات على اختراق الهواء و الطبقة الخارجية للجلد محدودة (تمتص في 4cm من الهواء). أما جسيمات بيتا و الأشعة السينية و اشعاعات غاما و النيوترونات فتتميز بقدرة عالية على الاختراق فيمكنها الوصول إلى أي عضو أو نسيج في الجسم عدا جسيمات بيتا التي يصل عمقها في الجسم إلى مسافات تعتمد على طاقتها و تتراوح بين 0.3 و حتى حوالي 1.5cm. لذلك تعتبر جميع المصادر المشعة (باستثناء بواعث ألفا) بمثابة مصادر للأخطار الخارجية.

2.9 عوامل التحكم في الجرعات الخارجية

يخضع التحكم في الأخطار الخارجية لثلاث عوامل أساسية الأول **امتداد الفترة الزمنية للتعرض** أو ما يعرف **بمعامل الزمن** ، و الثاني **المسافة بين المصدر المشع و النقطة المعنية** و الثالث **وجود دروع أو حواجز واقية** بين المصدر و النقطة المعنية بالحماية (تم تحديدها بتشريعات الحماية من الاشعاع).

1.2.9 عامل الزمن

إن الأسلوب الأبسط للوقاية من الأخطار الخارجية للإشعاعات هو قضاء أقل فترة زمنية ممكنة في الأماكن التي توجد بها، إذ أن الجرعة الاشعاعية المتراكمة تتناسب طرديا مع زمن التعرض كما هو موضح في **العلاقة 4.8** (أنظر الفصل الثامن)

مثال

إذا كان معدل الجرعة الفعالة في أحد المختبرات 50µSv/hour فكم ساعة يستطيع فني المخبر البقاء به في الأسبوع، مع العلم أن الحد السنوي للجرعة الفعالة للعاملين هو 20mSv في السنة

الحل

يتم أولا حساب حد الجرعة (D.L) الاسبوعي مع العلم أن السنة تعتبر 50 أسبوعا

$$(D.L) = \frac{20\,mSv}{50\,week} = 0.4\,mSv/week$$

و باستخدام العلاقة 4.8 نجد أن الزمن المسموح به للبقاء داخل المخبر خلال الأسبوع هو:

$$t = \frac{E}{E^*} = \frac{0.4\,10^{-3}}{50\,10^{-6}} = 8\,hour/week$$

2.2.9 عامل المسافة

نعلم أن معدل الجرعة الاشعاعية (D^* أو H^* أو E^*) يتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين المصدر و النقطة المعنية و هذا وفق العلاقة 16 من الفصل السابق. و عليه يرتبط معدل الجرعة D_1^* أو H_1^* أو E_1^* في نقطة معينة تبعد مسافة R1 عن المصدر مع معدل الجرعة D_2^* أو H_2^* أو E_2^* عند نقطة أخرى تبعد مسافة R2 عن نفس المصدر بعلاقة تعرف بقانون التربيع العكسي بين معدل الجرعة والمسافة (**العلاقة 1.9**).

$$E_1^* \times R_1^2 = E_2^* \times R_2^2 \ldots (1.9)$$

مثال

إذا كان معدل الجرعة المكافئة الناتجة عن مصدر كوبالت 60 في نقطة تبعد عنه 1m هو 6mSv/hour، فما هو معدل الجرعة على مسافة 3m من المصدر.

الحل

بتطبيق العلاقة 1.9 يكون المعدل عند النقطة الثانية هو:

$$H_2^* = H_1^2 \times \left(R_1^2 / R_2^2 \right)$$

$$\rightarrow H_2^* = 6 \times \left(1^2 / 3^2 \right) = 0.67\ mSv/h$$

3.2.9 الدروع (الحواجز الواقية) The shields

تعتبر الدروع من أهم وسائل الوقاية لذلك توضع المصادر المشعة ذات النشاط الاشعاعي المرتفع نسبيا داخل دروع أو قلاع واقية. و يتوقف نوع مادة الدرع و سمكه على نوع الاشعاعات و طاقتها. و كذلك على معدل الجرعة المحددة خارج هذا الدرع.

1- دروع مصادر بيتا

نعلم من خلال الفصول السابقة أن جسيمات بيتا تتفاعل مع المادة بأسلوبين هما التأيين و الاثارة و هو نمط التفاعل السائد عند الطاقات المنخفضة و إصدار الأشعة السينية الانكباحية عند الطاقات المرتفعة و تزداد كمية الأشعة السينية بزيادة العدد الذري Z للمادة المتفاعلة، لهذا السبب تعد المواد ذات العدد الذري الصغير (مثل الألمنيوم) هي الأنسب. و في أغلب الأحيان يجب وجود درع ثاني للحماية من الأشعة السينية الناتجة من الدرع الأول وفق **العلاقة 2.9** التي توضح نسبة الطاقة المتحولة من جسيمات بيتا إلى أشعة سينية:

$$F=0.00035\ Z\ E_{max}\%....(2.9)$$

و منه يمكن حساب عدد فوتونات الأشعة السينية N_x حيث $N\beta$ عدد جسيمات بيتا المنبعثة في الثانية و هذا وفق **العلاقة 3.9**:

$$N_x=F\ N_\beta/3....(3.9)$$

- **حساب سمك درع مصادر بيتا**
- بالنسبة لجسيمات بيتا التي لا تزيد طاقتها عن 2.5MeV وجد أن المدى الكتلي هو:

$$R=0.412\ E_{max}\ (1.265-0.0954\ \ln E_{max})....(4.9)$$

- بالنسبة لجسيمات بيتا التي تزيد طاقتها عن 2.5MeV وجد أن المدى الكتلي هو:

$$R=0.53\ E_{max}-0.106\ldots.(5.9)$$

و بعد حساب المدى الكتلي يتم إضافة 10-15% إلى هذا المدى كهامش أمان. و لحساب سمك الدرع بالوحدة العادية يتم قسمة السمك (المدى) الكتلي على كثافة المادة.

مثال

أحسب السمك الكتلي للدرع اللازم لمصدر سترونشيوم90 بحيث تمتص جميع جسيمات بيتا المنبعثة من ذلك المصدر داخل الدرع، ثم أحسب السمك الطولي عند استخدام الألمنيوم (كثافته $2.7g/cm^3$) و البلكسغلاس (كثافته $1.18g/cm^3$).

الحل

من المعروف أن السترونشيوم90 المشع لجسيمات بيتا طاقتها القصوى $E_{max}=0.546MeV$ ثم يتحول بعد ذلك إلى نظير الإيتريوم90 المشع بدوره لجسيمات بيتا طاقتها القصوى $E_{max}=2.284MeV$. لذلك يجب استخدام الطاقة القصوى لنظير الإيتريوم90 لأنها الأكبر. و منه:

$$R=0.412\ E_{max}\ (1.265-0.0954\ \ln E_{max})$$

$$R=1.116g/cm^2$$

و بعد حساب المدى الكتلي يتم إضافة 15% كهامش أمان ومنه:

$$R^*=1.116+(1.116\ 15/100)g/cm^2$$

$$R^*=1.2834\ g/cm^2$$

و لحساب سمك الدرع بالوحدة العادية يتم قسمة السمك (المدى) الكتلي على كثافة المادة.

- السمك الطولي من الألمنيوم: $X_{Al}=1.2834/2.7=0.475\ cm$

- السمك الطولي من البلكسغلاس: $X_{plex}=1.2834/1.18=1.087\ cm$

2- دروع الأشعة السينية و إشعاعات غاما

نعلم أنه عند مرور الأشعة الكهرومغناطيسية (الأشعة السينية و أشعة غاما) خلال مادة ما فإنه يحدث توهين لعدد الفوتونات التي تجتاز سمكا من هذه المادة وفق القانون:

$$I=I_0\ e^{-\lambda x}\ \ldots.(6.9)$$

حيث:

I_0: عدد الفوتونات الساقطة على المادة و I عدد الفوتونات التي تجتاز سمكا من المادة مقداره x دون تفاعل و λ معامل التوهين.

و بما أن معدل الجرعة الممتصة أو الفعالة أو المكافئة يتناسب طرديا مع عدد الفوتونات، فإنه يمكن التعبير عن معدل الجرعة الناتجة عن هذه الاشعاعات بعد اختراقها للدرع بالعلاقة 7.9:

$$E=E_0\, e^{-\lambda x} \quad ....(7.9)$$

حيث:I_0 : معدل الجرعة الفعالة في حالة عدم وجود الدرع و E معدل الجرعة الفعالة التي تجتاز سمكا من المادة مقداره x دون تفاعل و λ معامل امتصاص الطاقة.

ملاحظة

تجدر الاشارة هنا إلى أن معامل امتصاص الطاقة يقل بنسبة صغيرة عن معامل التوهين بسبب أنه:

- عند مرور الفوتون في المادة يمكن أن يفنى نتيجة العملية الكهروضوئية أو إنتاج الأزواج، ففي العملية الأولى يفقد الفوتون كل طاقته في المادة. أما في الحالة الثانية فرغم أن الفوتون يفنى و تنتقل طاقته إلى المادة إلا أن جزءا من هذه الطاقة قد يعود من جديد في صورة فوتوني الفناء (أنظر الفصل الخامس). لذلك يقال أن طاقة الفوتون قد لا تنتقل.

- كذلك في حالة تفاعل الفوتون مع المادة من خلال تشتت كمبتون فإن طاقة الفوتون لا تنتقل بالكامل إلى الالكترون المتحرر و إنما ينتقل جزء منها و يتشتت الفوتون حاملا الجزء الباقي من الطاقة.

و على العموم تجدول هذه المعاملات عادة في المراجع للمواد.

- **حساب سمك درع مصادر الأشعة السينية و إشعاعات غاما**

من حيث المبدأ يمكن استخدام علاقة الامتصاص الاسي للأشعة السينية و إشعاعات غاما (العلاقة 6.9) لحساب سمك الدرع اللازم لخفض الجرعة الفعالة أو المكافئة خارج الدرع للحد المطلوب. إلا أنه يجب الاشارة إلى سمك الدرع المحسوب وفق هذه العلاقة يكون غير كافي في الغالبية العظمى من الحالات، و لا تصح هذه العلاقة إلى في الظروف المثالية و التي تتمثل في ما يلي:

- حزمة الأشعة ضيقة جدا و متوازية

- سمك الدرع صغير للغاية

لذلك تم اعتماد العلاقة6.9 لحساب سمك النصف $X_{1/2}$ أو سمك العشر $X_{1/10}$.

و يعرف السمك النصفي على أنه سمك المادة الذي يخفض الجرعة الاشعاعي إلى نصف مقدارها و منه نكتب من **العلاقة6.9**:

$$X_{1/2}= \ln 2/\lambda \ldots.(8.9)$$

و إذا كان سمك الدرع مثلا خمسة أضعاف السمك النصفي فإن هذا الدرع يخفض الجرعة بواقع 32 مرة إذ أن $(1/2)^5=1/32$ و هكذا عندما يكون سمك الدرع مساويا عشرة أضعاف السمك النصفي فإن هذا الدرع يخفض الجرعة بواقع 1024 مرة.

و يبين **الجدول2.9** قيم معامل الامتصاص بوحدة cm^{-1} و قيم السمك النصفي بوحدة cm، لبعض المواد المستخدمة لصنع دروع واقية من الأشعة السينية واشعاعات غاما عند طاقات مختلفة.

الجدول2.9: قيم معامل الامتصاص و السمك النصفي ، لبعض المواد عند بعض الطاقات

الطاقة MeV	ماء		حديد		رصاص		خرسانة	
	$X_{1/2}$ cm	λ cm^{-1}	$X_{1/2}$ cm	λ cm^{-1}	$X_{1/2}$ cm	λ cm^{-1}	$X_{1/2}$ cm	λ cm^{-1}
0.01	0.155	4.48	0.0005	1330	0.0005	1340	0.012	57.8
0.1	4.2	0.65	0.27	2.60	0.012	58.2	1.75	0.397
0.5	15.0	0.069	0.53	1.32	0.42	1.65	3.09	0.224
1.0	19.0	0.07	1.47	0.47	0.90	0.77	4.62	0.150
1.5	20.0	0.034	1.82	0.38	1.45	0.48	6.48	0.107
2.0	22.5	0.031	2.10	0.33	1.80	0.39	7.97	0.087
5.0	27.5	0.025	2.48	0.28	1.40	0.50	9.62	0.072
10.0	32.5	0.022	3.01	0.23	1.28	0.54	12.8	0.054

و يعرف السمك العشري على أنه ذلك السمك من المادة الذي يخفض الجرعة الاشعاعية إلى جزء من عشرة أجزاء من قيمتها دون وجود الدرع و منه نكتب:

$$X_{1/10}= \ln 10/\lambda \ldots.(9.9)$$

و يمكن ملاحظة أن السمك العشري أكبر من السمك النصفي بمقدار 3.32 ضعفا.

مثال 1:

مصدر كوبالت 60 يؤدي إلى معدل جرعة فعالة مقدارها 320µSv/h عند نقطة معينة من المصدر، أحسب سمك درع الرصاص اللازم وضعه بين المصدر و النقطة المعنية لخفض معدل الجرعة إلى 10µSv/h. مع العلم أن السمك النصفي للرصاص عند طاقة الكوبالت 1.332KeV هو 1.25cm.

الحل:

نلاحظ أن عدد مرات الخفض المطلوبة في معدل الجرعة هي: 320/10=32 و حيث أن $32=2^5$ يكون عدد مرات السمك النصفي المطلوبة هي5.

و بما أن السمك النصفي للرصاص عند طاقة الكوبالت 1.332KeV هو 1.25cm، يكون سمك الرصاص المطلوب هو: $X=5\ X_{1/2}=5\ 1.25 = 6.25cm$

مثال2

مصدر كوبالت60 يبلغ نشاطه الاشعاعي 5000Ci موضوع داخل قلعة كروية، أحسب سمك الجدار اللازم للقلعة بحيث لا تتجاوز الجرعة الفعالة لعامل يمكث 35 ساعة أسبوعيا على مسافة 0.5m من المصدر. علما أن معامل غاما النوعي

الحل:

نحسب أولا معدل الجرعة الممتصة و من ثم استنتاج معدل الجرعة الفعالة و المكافئة من المصدر على بعد 0.5m قبل الدرع E_0^* باستخدام **العلاقة 16.8**:

$$(16.8)\rightarrow E_0^* = A\ \varsigma\ / R^2(\mu Sv/hour) = \frac{5000\,3.7\,10^4\,0.356}{0.5^2} = 2.63\,10^8(\mu Sv/hour)$$

و مع العلم أن حد الجرعة المسموح للعاملين وفق اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية هو 20mSv في السنة و منه يكون حد الجرعة المسموح للعاملين في الأسبوع هو 20/50=0.4mSv وهو 400µSv في الأسبوع، فيكون المعدل المقابل للجرعة عند العمل 35 ساعة أسبوعيا E^* هو:
400/35=11.43µSv/hour

بذلك يمكن حساب عدد مرات التخفيض المطلوبة n و هي:

$$n = \frac{E_0^*}{E^*} = \frac{2.63\,10^8}{11.43} = 2.3\,10^7$$

نلاحظ أنه يمكن كتابة هذا العدد من الشكل 2 مرفوعة إلى الأس 24.45 أي أن: $n = 2.3\,10^7 = 2^{24.45}$

يكون سمك الدرع المطلوب هو: $X = 24.45\times 1.25 = 30.56\,cm$

3.9 تشريعات الحماية من الاشعاع

1.3.9 اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية International Commission on Radiological Protection (ICRP)

تأسست اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية (ICRP) سنة 1928م. و منذ ذلك التاريخ كانت هذه اللجنة الهيئة الدولية المسؤولة عن وضع الحدود القصوى من الجرعات الاشعاعية التي يسمح بالتعرض لها، و عن إصدار التوصيات الخاصة بهذه الحدود و كذلك التوصيات الخاصة بكيفية تداول و نقل و تخزين المواد و المصادر المشعة و غيره. وتجدر الاشارة إلى أن معظم القوانين و التشريعات الخاصة بالتعرض للإشعاعات المؤينة و التي تسنها معظم الدول تنبثق توصيات هذه اللجنة. و كانت اهم التوصيات الاولية لهذه اللجنة ما يلي:

1- يجب ان لا تزيد ساعات العمل في المختبرات أو الأماكن التي تحوي الاشعاعات أو المصادر المشعة على 7 ساعات في اليوم.

2- يجب ألا تزيد أيام العمل على خمسة أيام في الأسبوع.

3- يجب ألا تقل الاجازة السنوية عن الشهر.

4- يجب قضاء أيام العطلات و الاجازات بعيدا عن تلك المختبرات أو الأماكن التي تتضمن إشعاعات مؤينة.

و قد تم تخفيض الحد الأقصى للجرعات المصرح بها بصورة واضحة خلال السنوات القليلة الماضية. و

يبين الجدول كيفية تطور الحدود القصوى للتعرض الاشعاعي.

الجدول3.9 : الحدود القصوى لتعرض العاملين المهنيين الصادرة عن اللجنة للوقاية الاشعاعية و تواريخ صدورها

	معدل الجرعة	تاريخ صدوره
1	0.2R في اليوم أو 1R في الأسبوع	1934م
2	150mSv (أي 15rem) في السنة، أي ما يعادل 3mSv (أي 0.3rem) في الأسبوع.	1950م
3	50mSv (أي 5rem) في السنة، أي ما يعادل 1mSv في الأسبوع.	1956م
4	يجب ان يكون معدل التعرض عند اقل حد معقول، بحيث لا تتجاوز الجرعة المكافئة 50mSv في السنة	1977م
5	يجب ان لا تتجاوز الجرعة الفعالة السنوية للعاملين 20mSv في السنة، و يجب ألا تتجاوز الجرعة الفعالة السنوية لعموم الجمهور 1mSv.	1991م

2.3.9 اللجنة العلمية للأمم المتحدة(UNSCEAR)

بعد أن استشعر العالم مخاطر الاشعاعات المؤينة تبنت الجمعية العامة للأمم المتحدة بتأسيس لجنة علمية سنة 1955 سميت باسم اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الأشعة الذرية United Nation Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. و تهدف اللجنة للوصول إلى الخلاصة العلمية حول الاشعاعات و تأثيرها دون أي توجهات سياسية. و تقدم اللجنة تقريرا علميا سنويا للجمعية العامة تضمنه أحدث ما توصلت إليه من خلال البحوث العلمية المتواصلة، و تستند اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية في التوصيات التي تصدرها على خلاصة النتائج العلمية التي تتوصل إليها اللجنة العلمية للأمم المتحدة.

3.3.9 توصيات اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية

1- النشرة رقم 26 لعام 1977م

في نشريتها السادسة و العشرون تم تقسيم التأثيرات الناجمة عن الاشعاعات المؤينة إلى نوعين رئيسيين هما:

- التأثيرات العشوائية: و هي التأثيرات التي قد تقع على المتعرض أو لا تقع، و التي يمكن أن تحدث من جرعات صغيرة أو كبيرة. إلى أن احتمال حدوثها يتناسب مع مقدار الجرعة.
- التأثيرات الحتمية: و هي التأثيرات التي تحدث إلا إذا زادت جرعة التعرض على جرعة العتبة. و تقع الإصابة بالتأكيد عند تجاوز هذه العتبة، و تزيد حدة الاصابة بزيادة الجرعة.

و طبقا لتوصيات النشرة رقم 26 لسنة 1977 تتمثل أهم أهداف الوقاية الاشعاعية في ما يلي:

- منع حدوث التأثيرات الحتمية و ذلك بتحديد قيمة عتبة الجرعة و خفض حدود الجرعات.
- خفض احتمال حدوث التأثيرات العشوائية بخفض معدل التعرض إلى أقل حد معقول حتى تبقى احتمالية الاصابة بهذه الامراض في حدود مقبولة مع أخذ العوامل الاقتصادية و الاجتماعية في الحسبان.

2- النشرة رقم 60 لعام 1990م

في ضوء المستجدات التي توصلت إليها كل من اللجنة العلمية للأمم المتحدة، و لجنة التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة، تبين أن عامل المخاطر الخاص بالإصابة بالأمراض السرطانية و الوراثية هو حوالي 0.06 لكل فرد في المتوسط لكل 1Svو هو أعلى بكثير من العامل المستخدم سابقا و هو حوالي 0.013 لكل فرد في المتوسط لكل 1Sv، لذا أوصت اللجنة الدولية في نشريتها رقم 60 بحدود أقل:

- حدود الجرعة بالنسبة للعاملين مهنيا بالإشعاعات: خفض الحد السنوي من 50 إلى 20mSvأي بواقع مرتين و نصف عما كان عليه سابقا.
- حدود الجرعة بالنسبة لعموم الجمهور: حد الجرعة الفعالة 1mSv في السنة.

4.9 تمارين مقترحة

1- مصدر سترونشيوم 90 مستخدم في الطب على شكل شريحة رقيقة نشاطه الاشعاعي1Ci محاط بدرع من الألمنيوم بالكاد يكفي لامتصاص جسيمات بيتا الصادرة من المصدر، ما هي نسبة طاقة جسيمات بيتا المتحولة لأشعة سينية. و ما هو عدد فوتونات الأشعة السينية الصادرة عن الدرع، علما بأن العدد الذري للألمنيوم هو 13.

2- مصدر السيزيوم 137 يبلغ نشاطه الاشعاعي 3000µBq، أحسب الجرعة الفعالة على مسافة 1m منه. إذا علمت أن السيزيوم يصدر فوتونات غاما بطاقة 662KeV في 85% فقط من تفككاته، أحسب سمك الدرع اللازم حتى تصبح الجرعة الفعالة 25µSv/h على بعد 50cm من المصدر.

المراجع

[1] **نادية محمود احمد سراج**، دراسة بيئية هندسية لوحدات العلاج والتشخيص بالإشعاع، رسالة ماجستير(2000).

[2] **محمد فاروق احمد**، أسس الفيزياء الإشعاعية، دار الفجر للنشر والتوزيع (1998).

[3] **مايرهوف، ترجمة الدكتور عاصم عبد الكريم عزوز**، مبادئ الفيزياء النووية، جامعة الموصل.

[4] **د صالح محمد متولي**، الأشعة السينية الفوائد و المخاطر، منشورات مدينة الملك عبد العزيز(2015).

[5]**عادل الجزولي محمد علي و ناديا عمر العطا**، قياس تركيز العناصر المشعة الطبيعية بمنطقة وادي حلفا كلية العلوم البحتة و التطبيقية جامعة إفريقيا العالمية، مجلة كلية العلوم (2015).

[6] **F. M. Khan**, The Physics of Radiation Therapy, Chapter 3: Production of X-rays, 4th edition, Lippincott Williams & Wilkins (2010).

[7] **R. K. Hobbie, B. J. Roth**, Intermediate Physics for Medicine and Biology, 4th edition - Springer (2007).

[8**] J. E. Turner**, Atoms, radiation and Radiation Protection, 3rd edition, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2007).