الفصل الثاني
الإشعاعية والإشعاع

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثاني

الإشعاعية والإشعاع

2.1 مقدمة:

قليل من المواد الموجودة في الطبيعة تحتوي على ذرات غير مستقرة تخضع لتحول تلقائي إلى ذرات ناتجة تكون أكثر استقرارًا. ومثل هذه المواد يقال لها: "**مشعة**" وعملية التحويل تعرف باسم " **الاضمحلال (التفكك أو التحلل) الإشعاعي**"، ويصاحب الاضمحلال الإشعاعي عادة انبعاث جسيمات مشحونة وأشعة جاما (γ).

وقد عرفت حقيقة إشعاع بعض العناصر طبيعيًّا لأول مرة، بواسطة بيكريل[1] عام 1896م، الذي فحص اسوداد المستحلب الفوتوغرافي، الذي عزاه إلى الإشعاع المنبعث من مركب لليورانيوم كان موجودًا بالقرب منه. وفي السنوات العشر اللاحقة، أثبتت الأعمال التجريبية الرائعة التي قام بها كل من رذرفورد، وسودي، ومدام كوري وزوجها[2] ، وآخرون غيرهم صحة الحقيقة القائلة: إن بعض النوى ليست مستقرة تمامًا، وهذه النوى غير المستقرة تبعث إشعاعات بثلاثة أنواع رئيسة تسمى: ألفا (α) وبيتا (β) وجاما (γ).

2.2 إشعاعات ألفا وبيتا وجاما:

إشعاع ألفا (α): تمت معرفته من قبل رذرفورد ورويدس على أنه نواة الهيليوم التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين، وتترابط هذه الجسيمات الأربعة مع بعضها بعضًا،

---

(1) بيكريل عالم فرنسي (1852– 1908م) منح جائزة نوبل عام 1903 لاكتشافه النشاط الإشعاعي.

(2) بيير كوري عالم فرنسي (1859 – 1906م) وزوجته مدام كوري سلكودفسكا (1867 – 1934م) منحا جائزة نوبل عام 1903م لاكتشاف النشاط الإشعاعي لأربعة نظائر طبيعية مشعة منها الراديوم.

بشدة بحيث يعامل جسيم ألفا في أحيان كثيرة بوصفه جسيمًا أساسيًّا كتلته (4u) ويحمل وحدتي شحنة موجبة.

إشعاع بيتا (β): عبارة عن إلكترونات سريعة جدًّا منشؤها من النواة، ولهذه "**الإلكترونات النووية**" خصائص مماثلة لإلكترونات الذرة؛ لذا فكتلتها ($\frac{u}{1840}$)، وتحمل وحدة واحدة من الشحنة السالبة. وهناك نوع آخر من إشعاع بيتا اكتشفه س. د.أندرسون[1] عام 1932م، وهذا الإشعاع يتكون من جسيمات لها كتلة الإلكترونات نفسها، ولكنها ذات شحنة موجبة، ويعرف هذا بإشعاع "**البوزيترون**". وعلى الرغم من أنه أقل أهمية من وجهة نظر الحماية الإشعاعية من جسيمات بيتا السالبة، ولكن المعرفة بالبوزيترون مهمة من أجل فهم ميكانيكية الاضمحلال الإشعاعي.

ويرمز لإشعاع بيتا إما بالرمز β^- (الإلكترونات) أو β^+ (البوزيترونات)، وفي الاستعمال اليومي يعني المصطلح "إشعاع بيتا" عادة النوع السالب (β^-).

إشعاع جاما (γ): ينتمي إلى نوع يعرف بالإشعاع الكهرومغناطيسي، وهذا النوع من الإشعاع يتكون من فوتونات، وهي تماثل إلى حد ما جسيمات ألفا وبيتا، ولكن الفوتونات ليس لها كتلة، وتتكون من "أكمام" أو جيوب من الطاقة المنتقلة على شكل حركة موجية، ومن أنواعه الأخرى المعروفة: موجات الراديو، والضوء المرئي. وكمية الطاقة في كل كم تعتمد على الطول الموجي للإشعاع، ولقد وجد من التجربة أن:

$$\text{ط} \propto 1/\text{ل} \qquad [\, E \propto 1/\lambda \,]$$

حيث إن ط (E) = طاقة الكم أو "الفوتون" للإشعاع الكهرومغناطيسي،

ل (λ) = طوله الموجي.

(1) أندرسون عالم أمريكي ولد عام 1905م منح جائزة نوبل للفيزياء عام 1936م؛ لاكتشافه البوزيترون.

وهناك نوع آخر من الإشعاع غالبًا ما يماثل أشعة جاما، وهو إشعاع إكس (الأشعة السينية)، والفرق الأساسي بينهما: هو في اختلاف مصدريهما، فبينما تنتج أشعة جاما عن التغيرات في النواة، فإن الأشعة السينية تنبعث عندما تعاني إلكترونات الذرة تغيرًا في المدار.

إن الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي يتغير بمدى واسع، كما هو موضح في الجدول (2-1).

جدول (2-1) الأطوال الموجبة للإشعاع الكهرومغناطيسي

نوع الإشعاع	طول الموجة (λ) بالأمتار
موجات الراديو (قناة 4 من دار الإذاعة البريطانية[1])	1500
موجات الراديو (قناة 2، الذبذبات العالية جدًّا)	3
الضوء المرئي	10^{-6} إلى 10^{-7}
الأشعة السينية (ذات طاقة 50 كيلو إلكترون فولت)	2.5×10^{-11}
أشعة جاما (طاقة مليون إلكترون فولت)	1.2×10^{-12}

وجميع الإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتقل خلال الفراغ بالسرعة نفسها، التي مقدارها 3×10^{8} م/ث (186000 ميل / ثانية)، وتتناقص هذه السرعة مع كثافة الوسط المارة فيه، ومثل هذا النقصان يمكن إهماله في حالة الهواء.

(1) ضرب المؤلفان موجة إذاعة بلادهما مثالاً، وإلا فيمكن قراءة أطوال موجات الراديو للإذاعات المختلفة من خلال واجهة الراديو.

3.2 الإلكترون فولت:

يعبر عن طاقة الإشعاع بوحدة "الإلكترون فولت" (eV)، والإلكترون فولت عبارة عن: "الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عند مروره عبر جهد كهربائي قدره فولت واحد". وعلى سبيل المثال: ففي أنبوب أشعة المهبط (الكاثود) في مستقبل الرائي (التلفزيون) يتم تعجيل الإلكترونات من مصدرها إلى الشاشة عبر جهد كهربائي قدره 10,000 فولت؛ لذا فإن الإلكترونات تمتلك طاقة مقدارها عشرة آلاف إلكترون فولت عندما تضرب الشاشة.

إن وحدة الإلكترون فولت صغيرة جدًّا؛ لذا فيعبر عن طاقة الإشعاع عادة بكل من كيلو (1000) أو ميجا (1000,000) إلكترون فولت.

1 كيلو إلكترون فولت (1 keV) = 1000 إلكترون فولت (1000 eV).

1 ميجا إلكترون فولت (1 MeV) = 1000,000 إلكترون فولت (1000,000 eV).

وحتى عندما يكون الإشعاع من نوع بيتا (إلكترونات)، فلا يزال ممكنًا استعمال (إلكترون فولت) بوصفه وحدة للطاقة مادامت طاقة الجسيم تعتمد على الكتلة والسرعة. وعلى سبيل المثال، فإن جسيمًا كتلته (ك)، يسير بسرعة (س) إذا كانت أصغر بكثير من سرعة الضوء، له طاقة حركية (ط) قدرها:

$$ط = 1/2 \ ك \ س^2$$

(من المهم إجراء تصحيح عندما تكون سرعة الجسيمات مقاربة لسرعة الضوء).

والجسيم الصغير كالإلكترون يتطلب سرعة أكبر من سرعة جسيم ألفا ـ مثلاً ـ كي يمتلك الطاقة الحركية نفسها. والطاقة تتناسب عكسيًّا مع طول الإشعاع الموجي في حالة الإشعاع الكهرومغناطيسي؛ لذلك فإن الإشعاع ذا الموجة الأقصر له طاقة أكبر من الإشعاع ذي الموجة الأطول.

4ـ2 ميكانيكية الاضمحلال الإشعاعي:

إن نوى أثقل العناصر الموجودة في الطبيعة كبيرة إلى حد يجعلها ليست بالمستقرة تمامًا، فالنظير "يورانيوم- 238" – مثلاً – له (92) بروتونًا (146) نيوترونًا ومن أجل أن تحصل النواة على استقرار نسبي، فإنها تشع جسيم ألفا؛ كي تقلل أعداد كل من البروتونات والنيوترونات إلى 90، 144 على التوالي. وهذا يعني أن النواة لها الآن عدد ذري (Z) مقداره 90 بدلاً من 92، فلم تعد هي بنواة اليورانيوم، بل إنها الآن نظير عنصر الثوريوم (Th) ذي العدد الذرى 90 والعدد الكتلي 234، الذي يدعى "الثوريوم-234". وعملية الاضمحلال هذه يمكن التعبير عنها كالآتي:

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

أو أكثر شيوعًا:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{234}_{90}Th$$

ومثال آخر لهذه العملية، ألا وهو اضمحلال " البولونيوم- 218 " (^{218}Po) بواسطة انبعاث ألفا إلى " الرصاص- 214 " (^{214}Pb).

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} ^{214}_{82}Pb$$

وقد تبين من الفصل الأول أن النيوترونات أكثر عددًا ـ في النوى الثقيلة ـ من البروتونات، وانبعاث جسيم ألفا يقلل كلاً منهما بمقدار اثنين، ولكن نسبة انخفاض النيوترونات أقل منها ـ إلى حد ما ـ بالنسبة إلى البروتونات. ففي عملية اضمحلال ^{238}U ينخفض عدد البروتونات بمقدار 2 من 92 بينما عدد النيوترونات ينخفض بمقدار 2 من 146 التي هي- بوصفها نسبة – أقل بكثير، ولهذا فإن تأثير انبعاث جسيم ألفا (α)

هو إنتاج نوى غنية بالنيوترونات وتبقى غير مستقرة. والنواة لا تقوم ببساطة بطرد نيوترون واحد (أو نيوترونات) لتصحيح هذا الاستقرار، بل إن أحد نيوترونات النواة ـ بدلا من ذلك ـ يتحول إلى بروتون بإشعاعه جسيم بيتا (β) (أي إلكترونًا سريعًا جدًّا).

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

وتدعى هذه الظاهرة "**انبعاث بيتا**" β. وفي حالة Th^{234} الناتج بواسطة اضمحلال جسيم ألفا (α) من U^{234}، فإن النواة ستضمحل أكثر بانبعاث β^{-} إلى "بروتاكتنيوم – 234" (Pa^{234})

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

أو

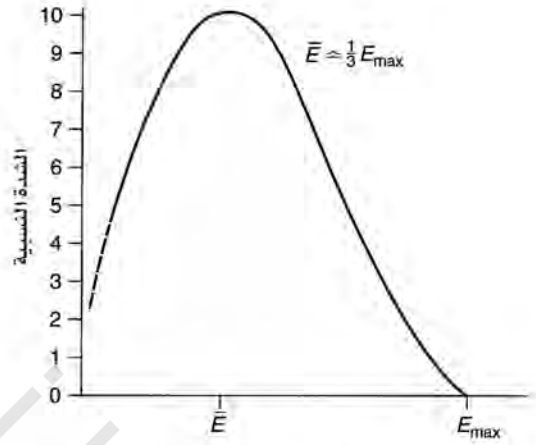
$$ {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta} {}^{234}_{91}Pa $$

وعلى افتراض " البولونيوم–218" مرة أخرى، فإن الاضمحلال يتم على النحو الآتي:

$$ {}^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^{-}} {}^{214}_{83}Bi $$

وتنتج ذرة البزموث–214، وهي ليست مستقرة، ولذلك تتوالى عمليات اضمحلال كل من جسيمات ألفا وبيتا، حتى تنتج ذرة مستقرة.

إن الإلكترونات المنبعثة خلال اضمحلال جسيم β لها توزيع مستمر للطاقة يتراوح ما بين الصفر والطاقة العظمى طع (E_{max}) التي تمثل خصيصة النواة. ولقد تبين من التجربة أن أكثر احتمال لطاقة β نحو 3/1 طع ($\frac{1}{3}E_{max}$). (انظر الشكل 2–1).



شكل (2-1) طيف بيتا النموذجي

بعد انبعاث جسيمات α و β^- في معظم الحالات ـ تعيد النواة ترتيب نفسها قليلاً، وتطلق طاقة على شكل انبعاث جاما. ولا بد من الإشارة إلى نوعين آخرين من العمليات الاضمحلالية وهما انبعاث البوزيترون وأسر الإلكترون، ففي انبعاث البوزيترون يقذف بروتون النواة إلكترونًا موجبًا (β^+) لينتج من ثم نيوترونًا:

$$ {}^{1}_{1}P \rightarrow {}^{1}_{1}n + \beta^+ $$

على سبيل المثال: الصوديوم - 22 (Na-22) يضمحل بانبعاث بوزترون ليتحول إلى نيون-22:

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

أما أسر الإلكترون فهي عملية يؤسر فيها إلكترون المدار الداخلي من قبل النواة، فيتحول البروتون بذلك إلى نيوترون.

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

ولهذا، فإن إعادة ترتيب إلكترونات الذرة بعد ذلك يؤدي إلى انبعاث الأشعة السينية.

5-2 سلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي:

بغض النظر عن (^{22}Na)، فإن الأمثلة السابقة للاضمحلال الإشعاعي جميعًا هي لمواد مشعة موجودة في الطبيعة، وتنتمي إلى ما يسمى **بسلسلة الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي**. وهناك ثلاث سلاسل للاضمحلال الإشعاعي الطبيعي، وتدعى: الثوريوم، واليورانيوم-راديوم، وسلسلة الإكتنيوم (انظر الجدول 2-2)، ويتضمن الجدول المذكور كذلك سلسلة النبتونيوم التي لا توجد طبيعيًّا بسبب أن عمر النصف لأطول نظائرها عمراً هو 2.2×10^6 سنة، وهو أصغر بكثير من عمر الأرض البالغ (3×10^9 سنة)[1] ويطلق على هذه الأربع: سلاسل الانحلال الثقيلة.

جدول (2-2) سلاسل الانحلال الثقيلة

اسم السلسلة	آخر نواة مستقرة	العنصر الأطول عمرًا
الثوريوم	^{208}Pb	^{232}Th ($T_{1/2} = 1.39 \times 10^{10}$ سنة)
اليورانيوم-راديوم	^{206}Pb	^{238}U ($T_{1/2} = 4.5 \times 10^9$ سنة)
الأكتنيوم	^{207}Pb	^{235}U ($T_{1/2} = 8.52 \times 10^8$ سنة)
النبتونيوم	^{209}Pb	^{237}U ($T_{1/2} = 2.2 \times 10^6$ سنة)

لقد استخدم مصطلح سلسلة؛ لأن الذرة يحدث لها اضمحلال إشعاعي متوالٍ حتى تصل إلى حالة الاستقرار. ففي سلسلة الثوريوم الذرة الأولى هي ثوريوم-232 يحدث لها اضمحلال إشعاعي متعاقب كالآتي:

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta^-} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{224}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{220}_{86}Rn$$
$$\xrightarrow{\alpha} {}^{216}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{212}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{212}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{212}_{84}Po \rightarrow {}^{208}_{82}Pb$$

(1) يقدر عمر الأرض حسب الدراسات الحديثة 4.45×10^9 سنة.

إن أعمار الأنصاف في أفراد هذه السلسلة تتراوح بين 0.15 ثانية للبولونيوم-216 و1.4 × 10^{10} سنة) للثوريوم-232.

2 ـ6 الإشعاعية المحتثة:

ربما تصبح العناصر الأخف مشعة بعد قذفها بجسيمات نووية. وهذه العملية تتضمن، قذف نواة مستقرة لعنصر ما بالنيوترونات في مفاعل نووي، فإذا ما اصطدم النيوترون بالنواة فقد تأسره مع انبعاث إشعاع جاما γ، وتسمى مثل هذه العملية تفاعل نيوترون-جاما (γ , n) حيث تكون الذرة الناتجة -اعتياديًّا- غير مستقرة بسبب زيادة نيوترون، ومن ثم فإنها تضمحل بواسطة إشعاع بيتا.

إذا ما قُذِف النظير المستقر (كوبالت-59) بالنيوترونات فسوف تنتج ذرات النظير المشع (كوبالت-60)، وتعاني هذه الذرات أخيرًا اضمحلال بيتا لتتحول إلى ذرات النظير المستقر (النيكل-60) وتكتب هذه العملية كالآتي:

$$^{59}_{27}Co(n,\gamma)Co^{60}_{27} \qquad ^{60}_{27}Co \xrightarrow{\beta} ^{60}_{28}Ni$$

هناك أنشطة إشعاعية متنوعة وعمليات اضمحلال أخرى ستناقش فيما بعد.

2 ـ7 وحدة الإشعاعية:

إن الاضمحلال في أي عينة مشعة أمر احتمالي بطبعه، وعلى ذلك فمن المستحيل التنبؤ بتحلل ذرة بعينها، ونتيجة هذا الارتياب المتعلق بسلوك الذرة، فإن قانون الاضمحلال الإشعاعي له طبيعة أسِّية، ويعبر عنه رياضيًّا:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

حيث N_0 عدد النوى الأصلية الموجودة.

N عدد النوى الموجودة عند الزمن (t)،

λ ثابت الاضمحلال الإشعاعي.

إن عمر النصف ($T_{1/2}$) لنظير مشع: "هو الزمن اللازم لاضمحلال نصف نوى العينة" ويمكن حسابه بوضع ($N=\frac{No}{2}$) في المعادلة أعلاه:

$$\frac{No}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

وبقسمة المعادلة على N_0 وأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\log_e\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T_{1/2}$$

والآن

$$\log_e \frac{1}{2} = -\log 2$$

ولهذا، فإن:

$$T_{1/2} = \frac{\log 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ومادام معدل التحلل، أو النشاط الإشعاعي للعينة يتناسب مع عدد النوى المستقرة، فهذا يعني أنه متغير أسّيًّا مع الزمن، أي:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

وهذه العلاقة موضحة في الشكل (2-2)، الذي يظهر تغير نشاط العينة مع الزمن، إذ يضمحل النشاط الإشعاعي -خلال نصف عمر واحد- إلى ($\left(\frac{1}{2}\right)A_0$)،

وخلال ضعف نصف العمر إلى ($\left(\frac{1}{4}\right)A_0$)، وهكذا...

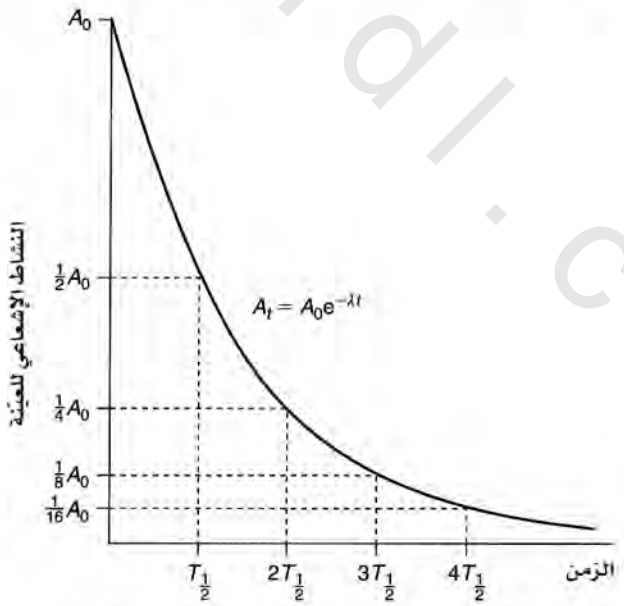
إن عمر النصف لأي نظير مشع مقدار ثابت، وقياسه يساعد على معرفة العينة الإشعاعية ذات التركيب المجهول، ويمكن فقط تطبيق هذه الطريقة على النظائر التي معدل

اضمحلالها يتغير -بقدر معقول- في مدد زمنية معقولة يمكن حسابها، ومن الجانب الآخر لا بد أن يكون للنظير نصف عمر كافٍ؛ ليتسنى معه إجراء بعض القياسات قبل أن يضمحل بأكمله. ومن أجل تعيين أعمار نصف متناهية الصغر أو متناهية الكبر، فلا بد من استعمال وسائل أكثر إتقانًا.

إن مدى أعمار النصف تتراوح بين 10^{-14} سنة للبولونيوم (Po^{212})، وحتى نحو 10^{17} سنة للبريليوم (Bi^{209})، وهذا المدى يمثل معاملاً قدره 10^{31}.

قبل سنوات قليلة كانت **الكوري** (Ci) هي الوحدة الإشعاعية، وقد استبدلت حديثًا وحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي [SI] بالبيكريل (Bq) ، ووحدة الكوري مرتبطة أساسًا بإشعاع غرام واحد من الراديوم، ولكن التعريف استقر أخيرًا على أنه 3.7×10^{10} تحلل نووي/ ثانية، وهو المقدار السابق نفسه إلى حد ما.

1كوري (Ci)= 3.7×10^{10} تحلل/ ثانية أو 2.22×10^{12} تحلل/ دقيقة



شكل (2-2) تغير النشاط الإشعاعي مع الزمن

والبيكريل (Bq) تعرف على أنها "تحلل نووي واحد في الثانية"، وبمقارنتها بوحدة الكوري تظهر أنها جد صغيرة، ونظراً لكون إشعاعية معظم النظائر المشعة أكبر بكثير من البيكريل، لذا تستخدم – للأغراض العملية – بادئات الضرب الآتية:

1 بيكريل= 1 تحلل/ ثانية

1 كيلو بيكريل (kBq)= 10^3 بيكريل= 10^3 (تحلل/ ثانية)

1 ميجا بيكريل (MBq)= 10^6 بيكريل= 10^6 (تحلل/ ثانية)

1 جيجا بيكريل (GBq)= 10^9 بيكريل= 10^9 (تحلل/ ثانية)

1 تيرا بيكريل (TBq)= 10^{12} بيكريل= 10^{12} (تحلل/ ثانية)

1 بيتابيكريل (PBq)= 10^{15} بيكريل= 10^{15} (تحلل/ ثانية)

وللتسهيل في هذا الكتاب، فسوف تستعمل كل من الوحدات بيكريل، ميجا بيكريل، تيرا بيكريل فقط.

وكما وضح آنفًا من أن الاضمحلال الإشعاعي يتضمن انبعاث جسيم مشحون (α أو β). وهذا قد يكون مصحوبًا ـ ولكن ليس دائمًا ـ بانبعاث واحد أو أكثر لـ γ. وبعض النويدات تبعث X أو γ فقط.

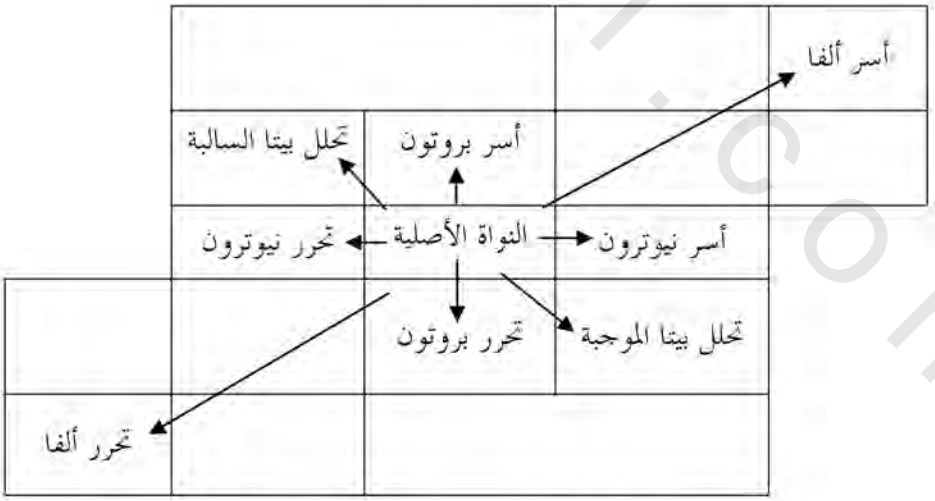
2ـ8 جدول النويدات:

جدول النويدات هو جمع للمعلومات التي تخص جميع النويدات المعروفة، المستقر منها وغير المستقر، ويظهر الشكل (2-3) قسمًا من هذا الجدول.

وفي هذا الجدول يمثل كل خط أفقي عنصرًا وتمثل المربعات في هذا الخط النويدات أو النظائر لهذا العنصر، وطبعت بداخل كل مربع المعلومات الخاصة بتلك النويدة، وقد

ميزت كل من النويدات المستقرة والمشعة طبيعيًّا أو صناعيًّا باستعمال ألوان مختلفة أو بتظليل لتلك المربعات، ويظهر ـ في كل مربع ـ الرمز والعدد الكتلي، وكذلك التوافر الطبيعي للنظير. أما بالنسبة إلى النظائر المشعة، فيظهر ـ أيضًا ـ كل من عمر النصف، وأنماط الانحلال، وطاقة الجسيمات المشحونة، وطاقة الجسيمات المتحررة أو أشعة γ. وفي شكل (2-3) تقع جميع النويدات التي لها العدد الذري نفسه على خط أفقي واحد، بينما تقع جميع النويدات المتماثلة بالعدد الكتلي على الخط المائل بزاوية 45، وتبدأ من أعلى اليسار، وتنتهي بأسفل اليمين. إن بعض جداول النويدات تحتوي على معلومات إضافية حذفت من هذا النموذج (شكل 2-3) من أجل أن يكون واضحًا.

				Si 25	Si 26	Si 27	Si 28	Si 29	Si 30	Si 31	Si 32
				Al 24	Al 25	Al 26	Al 27	Al 28	Al 29	Al 30	
		Mg 21	Mg 22	Mg 23	Mg 24	Mg 25	Mg 26	Mg 27	Mg 28		
		Na 20	Na 21	Na 22	Na 23	Na 24	Na 25	Na 26			
Ne 17	Ne 18	Ne 19	Ne 20	Ne 21	Ne 22	Ne 23	Ne 24				



شكل (2- 3) جزء من جدول النويدات

يمكن استعمال "جدول النويدات" لمعرفة معلومات سريعة عن نتائج عدة تفاعلات نووية. كمثال، فإن تفاعل (n, γ) للصوديوم-23 (^{23}Na) ينتج الصوديوم-24 (^{24}Na)، وهذا ^{24}Na يشع بدوره - بعمر نصف قدره 15 ساعة - جسيمات بيتا (β^-) بطاقة قدرها 1.39 ميجا إلكترون فولت، والنواة الناتجة عن اضمحلال (^{24}Na) هي المغنيسيوم-24 (^{24}Mg) المستقر. إنه لمن الواضح - حتى من الشكل المبسط (2-3) - أن جدول النويدات يشكل مصدرًا قيمًا جدًّا للمعلومات عن خصائص كل من النويدات المستقرة وغير المستقرة.

2 ـ 9 تفاعل الإشعاع مع المادة:

2- 9- 1 الجسيمات المشحونة:

تفقد كل من جسيمات α وβ الطاقة - بشكل رئيس- من خلال تفاعلاتها مع إلكترونات الذرات في الوسط الممتص، والطاقة المنتقلة للإلكترونات، إما تثيرها إلى مستويات طاقة أعلى (**الإثارة**)، أو تفصلها عن الذرة الأم (**التأين**). وهناك تأثير مهم آخر ألا وهو انبعاث الطاقة على شكل أشعة سينية من الجسيمات المشحونة، وذلك عندما تتناقص سرعتها فجأة، وهذا ما يعرف باسم أشعة الكبح أو أشعة التوقف، وتكتسب هذه أهميتها - من الناحية الفعلية - في حالة إشعاع بيتا فقط.

2- 9- 2 إشعاعات جاما والأشعة السينية:

تتفاعل كل من الأشعة السينية وأشعة جاما مع المادة خلال كثير من الطرق البديلة، وأكثرها أهمية، ثلاثة: **الأثر الكهروضوئي، واستطارة كومبتن**[1]، **ونتاج الزوج.**

(1) نسبة إلى مكتشفها العالم الأمريكي آرثر كومبتن (1892- 962 أم) المولود في أوهايو في 1892م، حصل على الدكتوراه من جامعة برنستون عام 1916م، تقلد منصب رئيس قسم الفيزياء في جامعة واشنطن في سانت لويس عام 1920م، وشغل أيضًا منصب رئيس الجامعة المذكورة. منح عام 1927م جائزة نوبل؛ لاكتشافه هذه الظاهرة مع ت. ويلسون الإنجليزي.

فى الأثر الكهروضوئى، تنتقل طاقة فوتون جاما أو فوتون الأشعة السينية بأكملها إلى إلكترون الذرة الذي ينطلق عن النواة الأم، ويمتص الفوتون كليًّا في هذه الحالة، - وعلى النقيض من ذلك - فإنه عندما تحدث استطارة كومبتن فإن جزءًا من طاقة الفوتون فقط ينتقل إلى إلكترون الذرة، وعندها يستطار الفوتون بطاقة منخفضة. في المجال الكهربائي الشديد قريبًا من جسيم مشحون[1] (النواة في العادة). ربما يتحول فوتون جاما ذو الطاقة العالية إلى زوج "بوزيترون-إلكترون"، وهذا ما يطلق عليه "نتاج الزوج" حيث يتشارك الجسيمان المتولدان في الطاقة المتبقية. وهكذا، فإن جميع التفاعلات الثلاثة تنتج عن انتقال طاقة الفوتون إلى إلكترونات الذرة، التي بدورها تفقد طاقة، كما شرح ذلك في بند (2-9-1).

2- 9- 3 النيوترونات:

لأن النيوترونات ليست مشحونة، لذا فلا يمكنها أن تؤدي مباشرة إلى تأين، ولكن النيوترون -كما في حالة إشعاع جاما- ينقل طاقته آخر الأمر إلى الجسيمات المشحونة.

وإضافة إلى ذلك، فإن النيوترون -ربما- يؤسر من قبل النواة، فيصدر عنها عادة إشعاع جاما. إن هذه العملية ستوصف بتفصيل أكبر في الفصل الثامن.

يلخص الجدول (2- 3) أنواع تفاعلات الإشعاعات النووية مع المادة.

(1) هذا الأمر ضروري لتحقيق قانوني حفظ الطاقة والزخم.

obeikandl.com

جدول (2- 3) تفاعلات الإشعاعات النووية

الإشعاع	العملية	ملاحظات
ألفا (α)	تصادمات غير مرنة مع إلكترونات مقيدة	يؤدى إلى إثارة وتأين
بيتا (β)	(أ) تصادمات غير مرنة مع إلكترونات الذرات	يؤدى إلى إثارة وتأين
	(ب) تباطؤ في مجال النواة	يؤدى إلى انبعاث أشعة الكبح
إشعاع X, γ	(أ) الأثر الكهروضوئي	يمتص الفوتون كلية
	(ب) تأثير كومبتن	يمتص جزءًا من طاقة الفوتون
	(جـ) نتاج الزوج	
نيوترون (n)	(أ) الاستطارة المرنة	نوقشت في الفصل الثامن
	(ب) الاستطارة غيرالمرنة	
	(جـ) عمليات الأسر (الامتصاص)	

2-10 القدرات الاختراقية للإشعاعات النووية:

إن جسيم α ككتلة ضخمة -بالمقياس النووي- ينتقل بسرعة بطيئة نسبيًّا خلال المادة؛ لذا فهو يملك فرصة عالية في تفاعله مع الذرات خلال مساره، ويمنح بعض طاقته عند كل من هذه التفاعلات. لهذا، فإن جسيم α يفقد طاقته بسرعة، ومن ثم، فهو يتحرك فقط عبر مسافة جد قصيرة في الوسط الكثيف.

أما جسيمات بيتا فحركتها أسرع؛ لأنها أصغر من جسيمات α؛ لذا فهي تعاني تفاعلات أقل عبر وحدة طول المسار، وتمنح طاقتها بأبطأ مما هو عليه في حالة α، وهذا يعني أن جسيمات β تنتقل في الأوساط الكثيفة مدى أطول من جسيمات α.

تفقد أشعة جاما طاقتها ـ بشكل رئيس ـ بسبب تفاعلها مع إلكترونات الذرات، وتنتقل بسرعة جد كبيرة خلال الأوساط الكثيفة، ومن الصعب جدًّا امتصاصها كليًّا. تعطي النيوترونات طاقتها خلال أنماط من التفاعلات، والأهمية النسبية لكل تفاعل تعتمد بشكل كبير على طاقة النيوترون ولهذا السبب، فمن اللائق عمليًّا تقسيم النيوترونات إلى ثلاثة مجاميع طاقة على الأقل: **السريعة، والمتوسطة، والحرارية**. إن النيوترون جد مخترق، ويقطع مسافات طويلة في الأوساط الكثيفة.

في الجدول (2- 4) ملخص لخصائص مختلف الإشعاعات النووية ومداها[1]، وهي مجرد أرقام تقريبية تعتمد على طاقة الإشعاع.

جدول (2- 4) خصائص الإشعاعات النووية

الإشعاع	الكتلة	الشحنة	المدى في الهواء	المدى في الأنسجة
ألفا (α)	4	2+	0.03 متر	0.04 ملم
بيتا(β)	1840/1	1- (1+)	3 متر	5 ملم
إشعاع (γ ,X)	صفر	صفر	عالٍ جدًّا	يخترق الجسم
نيوترون سريع	1	صفر	عالٍ جدًّا	يخترق الجسم
نيوترون حراري	1	صفر	عالٍ جدًّا	0.15 م

(1) المدى: أبعد نقطة يصل إليها الإشعاع.

openkan.com

خلاصة الفصل:

الاضمحلال الإشعاعي: تحوُّل مادة غير مستقرة إلى شكل أكثر استقرارًا، مصحوبة ـ في العادة ـ بانبعاث جسيمات مشحونة وأشعة γ.

إشعاع ألفاα: نوى الهليوم (بروتونان + نيوترونان)، الكتلة (4u)، الشحنة (+2 وحدة).

إشعاع بيتاβ: إلكترونات سريعة جدًّا تنشأ عن النواة، الكتلة ($\frac{u}{1840}$)، الشحنة (-1 إلكترون) أو (+1 بوزيترون).

إشعاع جاماγ: إشعاع كهرومغناطيسي، طول موجي قصير جدًّا، $E \propto \frac{1}{\lambda}$، الكتلة تساوي صفرًا، مقدار الشحنة صفر.

إلكترون فولت: الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عند مروره خلال جهد كهربائي قدره فولت واحد.

10^6 إلكترون فولت (10^6 eV) =10^3 كيلو إلكترون فولت (10^3 keV)

= ميجا إلكترون فولت (MeV)

سلسلة النشاط الإشعاعي: تتكون من المواد الإشعاعية الموجودة طبيعيًّا، السلاسل الثلاث هي: الثوريوم، واليورانيوم-راديوم، والأكتنيوم.

الإشعاعية المحتثة: إشعاعية متولدة نتيجة قذف الذرات المستقرة بجسيمات نووية، مثل النيوترونات في مفاعل نووي.

قانون الاضمحلال الإشعاعي: $N = N_0 e^{-\lambda t}$

عمر النصف: الزمن اللازم لاضمحلال نصف نوى الصنف المشع.

$$T_{\frac{1}{2}} = 0.693 / \lambda$$

obeikandl.com

الكوري: الوحدة السابقة للإشعاعية، وتعرف على أنها 3.7×10^{10} تحلل / ثانية، 1 كوري (1Ci) = 10^{3} ملي كوري (10^{3} mCi) =10^{6} مايكروكوري (10^{6} μCi)

البيكريل: وحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي، وتعرف على أنها تحلل واحد/ ثانية.

1 تيرا بيكريل (1 TBq)= 10^{6} ميجا بيكريل (10^{6} MBq)

=10^{12} بيكريل (10^{12}Bq).

جدول النويدات: تصنيف المعلومات لجميع النويدات المعروفة.

فقدان الطاقة: يتم في حالة:

جسيمات ألفا: تخسر طاقتها خلال الإثارة والتأين.

جسيمات بيتا: تخسر طاقتها خلال:

(أ) الإثارة والتأين لإلكترونات الذرة.

(ب) التباطؤ الحاد مع انبعاث أشعة الكبح.

فوتونات جاما: تخسر طاقتها خلال:

(أ) الأثر الكهروضوئي.

(ب) استطارة كومبتن.

(جـ) نتاج الزوج.

النيوترونات: تخسر طاقتها خلال:

(أ) الاستطارة المرنة.

(ب) الاستطارة غير المرنة.

(جـ) تفاعلات الأسر (الامتصاص).

obeikandl.com

أسئلة للمراجعة:

(1) اشرح الفرق بين النشاط الإشعاعي والإشعاع؟

(2) أعطِ أسماء نواتج عمليات الاضمحلال الإشعاعي الآتية:

أ- اضمحلال ألفا (α) لليورانيوم- 238 ($^{238}_{92}U$).

ب- اضمحلال بيتا (β^-) للتريتيوم ($^{3}_{1}H$).

جـ- اضمحلال بيتا (β^+) للنحاس-62 ($^{62}_{29}Cu$).

(3) اشرح سبب وجود ثلاث سلاسل فقط للنشاط الإشعاعي الموجود طبيعيًّا.

(4) احسب عمر النصف لمادة مشعة من خلال سلسلة الحسابات الآتية:

الزمن بالدقائق	صفر	1	2	3	4	5	6	7	8
النشاط الإشعاعي (ومضة / دقيقة)	-	820	605	447	330	243	180	133	98

(5) عبّر عن الأنشطة الإشعاعية الآتية بميجابيكريل:

(أ) 5×10^6 تحلل/ثانية.

(ب) 750 كيلوبيكريل.

(جـ) 1.3 جيجا بيكريل.

(د) 6×10^7 تحلل/ دقيقة.

(6) لماذا يتبع اضمحلال ألفا ـ عادة ـ باضمحلال بيتا السالب (β^-)؟

(7) استخدم جدول النويدات في كتابة ناتج أو النواتج المرحلية التي ستنتج من تفاعل الامتصاص (n,γ) للنويدات الآتية:

الحديد 59 ($^{59}_{27}Fe$) ، الصوديوم 23 ($^{23}_{11}Na$) ، البلوتونيوم 239 ($^{239}_{94}Pu$).