المحاضرة الرابعة

مبادئ الفيزياء النووية وتطبيقاتها الطبية

Principles of the Nuclear Physics and their Medical applications

4.1 مقدمة Introduction

بالإضافة لما ذكر في المحاضرة الثالثة من مبادئ للنواة الذرية، فإننا سنبين في هذه المحاضرة المزيد من مبادئ الفيزياء النووية التي تخص النواة. كما سنشير إلى بعض التطبيقات الطبية للفيزياء النووية.

4.2 النشاط الإشعاعي The radioactivity

يُقسم النشاط الإشعاعي إلى قسمين: طبيعي (تلقائي) واصطناعي.

يعود اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي إلى العالم هنري بيكريل عام 1896 حيث كان لهذا الاكتشاف أهمية كبرى في تطور الفيزياء الذرية والنووية. وبعد عامين من ذلك التاريخ استطاعت ماري كوري أن تبرهن أن النشاط الإشعاعي الطبيعي هو خاصة تتمتع بها نوى بعض النظائر وأن شدة الإشعاع تتناسب طرداً مع عدد نوى العنصر المشع ولا تتعلق بتركيبها الكيميائي. وفي عام 1899 درس رذرفورد طبيعة الإشعاع الصادر عن هذه المواد.

يُعبر النشاط الإشعاعي الطبيعي عن قدرة نوى بعض العناصر على التحول تلقائياً (أي بدون مؤثرات خارجية: كالتسخين إلى درجات حرارة مرتفعة أو تطبيق حقول كهربائية ومغناطيسية أو الضغوط العالية) إلى نوى عناصر أخرى. ويترافق ذلك بتحرير نوع خاص من الإشعاعات وبانطلاق كمية كبيرة من الحرارة، وتسمى هذه الظاهرة بالتفكك الإشعاعي. ينضوي تحت اسم إشعاعات النشاط الإشعاعي ثلاث أنواع من الأشعة المختلفة بطبيعتها ولكنها ذات خواص عامة واحدة سميت تاريخياً بأشعة ألفا، بيتا وغاما. أما ظاهرة النشاط الإشعاعي الاصطناعي فقد اكتشفت عام 1934 من قبل العالمين فريدريك خوليو وإيرين كوري.

وفي ما يلي سوف نوجز أهم الصفات والمميزات التي تتصف بها كل من إشعاعات ألفا، بيتا وغاما.

a ـــ تتصف أشعة ألفا بأنها عبارة عن جسيمات مشحونة بشحنة مضاعفة موجبة، وهي تمتلك عدداً ذرياً وعدداً كتلياً 4 وهي بذلك تقابل نوى ذات الهليوم، يرمز لها بأحد الرمزين التاليين: $_2^4He^{++}$ أو $_2^4\alpha$ (أو اختصاراً α). تمتلك جسيمات ألفا طاقات تتراوح من 1 إلى $10MeV$ وسرعات مختلفة تتراوح من

7000 إلى $2\times 10^4\ km/s$ وذلك تبعاً للنوى الناتجة عنها. كما تمتاز جسيمات ألفا بأنها ذات قدرة تأينية كبيرة وذلك بسبب كبر كتلتها وشحنتها الموجبة المضاعفة، ولكنها بالمقابل ذات قدرة اختراق (نفوذ) ضعيفة في الأوساط المادية التي تجتازها. يقدر طول مسارها في الهواء بين $2\text{-}8.5\ cm$ وذلك حسب طاقة جسيم ألفا، وتعتبر هذه القيمة من الخواص المميزة والثابتة للعنصر المشع عند درجة حرارة معينة. أما ضمن الأنسجة الحية فيقدر طول مسارها بعشرات الميكرومتر. فعلى سبيل المثال إذا سقطت حزمة من تلك الأشعة على سطح الجلد فإنه سرعان ما تفقد كامل طاقتها في الخلايا المشكلة للطبقة السطحية للأدمة. يمكن تحقيق الحماية من تأثير جسيمات α باستخدام طبقة رقيقة جداً من أية مادة كانت (قماش، ورق سميك،....).

يكمن الخطر الأساسي لجسيمات α عند إصابتها لأغشية جهاز التنفس وجهاز الهضم وذلك من جراء تلوث إشعاعي سواء بالاستنشاق أو عند تناول أغذية ملوثة إشعاعياً.

تصدر أشعة α عن نوى الذرات الثقيلة جداً (أي التي تتميز بعدد ذري $Z \geq 83$) ويُعبر عن ذلك وفق التفاعل النووي التالي:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

ولنذكر مثلاً تفكك ألفا التالي:

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

b ــ تتصف أشعة بيتا بأنها عبارة عن جسيمات مشحونة وهي على نوعين: إما سالبة (بالنسبة لغالبية العناصر الذرية المشعة) وهي عبارة عن إلكترونات وتدعى بأشعة بيتا السالبة، ويرمز لها بأحد الرمزين التاليين ${}^{0}_{-1}e$ أو ${}^{0}_{-1}\beta$ (أو اختصاراً e^- أو β^-). وإما موجبة (بالنسبة لبعض النظائر المشعة الاصطناعية) وهي عبارة عن بوزيترونات (أي إلكترونات ذات شحنة موجبة) وتدعى بأشعة بيتا الموجبة، ويرمز لها بأحد الرمزين التاليين ${}^{0}_{+1}e$ أو ${}^{0}_{+1}\beta$ (أو اختصاراً e^+ أو β^+). تمتلك جسيمات بيتا بنوعيها طاقة حركية متغيرة من الصفر وحتى قيمة عظمى E_{max}، وتمتلك أيضاً سرعة قريبة من سرعة الضوء. يتميز مسار أشعة بيتا بأنه مستقيم في البداية وسرعان ما ينحرف عن المستقيم وخاصة في نهاية المسار. تمتاز أشعة بيتا بأنها ذات قدرة تأينية أقل من جسيمات ألفا ولكنها بالمقابل تمتاز بقدرة اختراق (نفوذ) أكبر من جسيمات ألفا في الأوساط المادية التي تجتازها. يقدر طول مسارها في الهواء بعدة أمتار، أما في الأنسجة الحية فيتراوح طول مسارها بحسب طاقتها الابتدائية بين جزء من الميكرون إلى بضع ميليمترات. إذا سقطت حزمة من أشعة بيتا على سطح الجلد فإن بإمكانها أن تخترق الطبقات العميقة من الأدمة حيث تتخلص عند هذا المستوى من قسم كبير من طاقتها. يمكننا تحقيق الحماية من تأثير جسيمات β بنوعيها باستخدام طبقة البلاستيك أو الزجاج أو أي معدن خفيف تكون سماكته من مرتبة $1cm$. يكمن الخطر الأساسي لجسيمات β عند إصابتها لأغشية جهاز التنفس وجهاز الهضم وذلك من جراء التلوث الإشعاعي الداخلي.

تصدر أشعة β عن نوى العناصر المشعة بشكل طبيعي والتي تمتلك فائضاً من النيترونات بالنسبة لعدد البروتونات ويُعبر عن ذلك كما يلي:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu} $$

ولنذكر مثلاً تفكك بيتا التالي:

$$ {}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu} $$

أما أشعة β^{+} فتصدر عن نوى العناصر المشعة بشكل اصطناعي والتي تمتلك فائضاً من البروتونات بالنسبة لعدد النيترونات ويُعبر عن ذلك كما يلي:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu $$

ونذكر على سبيل المثال التفكك التالي:

$$ {}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}e + {}^{0}_{0}\nu $$

حيث ν و $\bar{\nu}$ هما النيترينو ومضاد النيترينو على الترتيب.

c ــ تتصف أشعة غاما بأنها متعادلة كهربائياً (لا تحمل شحنة) ولا تمتلك كتلةً سكونية ولا عدداً ذرياً وهي بذلك عبارة عن جسيمات طاقية دُعيت بالفوتونات ويرمز لها بالرمز ${}^{0}_{0}\gamma$ (أو اختصاراً γ) تمتاز فوتونات غاما بكونها تمتلك طاقة حركية متغيرة وذلك تبعاً لنواة العنصر المشع الصادرة عنها، بحيث تتراوح بين عشرات الإلكترون فولط إلى أكثر من $1MeV$، كما تتميز بطول موجة قصير جداً $(\lambda \leq 0.1nm)$ وسرعة تساوي سرعة الضوء. وتمتاز فوتونات غاما أيضاً بأنها ذات قدرة تأينية أقل بكثير من جسيمات ألفا وبيتا، إلا أن قدرتها التأينية الإجمالية أكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا وذلك بسبب أن فوتونات غاما تحرض تأيناً ثانوياً من خلال الاصطدام بإلكترونات الوسط (مفعول كومبتون) أو بالامتصاص (المفعول الكهرضوئي). وتمتاز فوتونات غاما بأنها ذات قدرة اختراق (نفوذ) أكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا، ويعود السبب في ذلك لانعدام كتلتها ولسرعتها التي تماثل سرعة الضوء. يقدر طول مسارها في الهواء بمئات من الأمتار، أما في الأنسجة الحية فهي قادرة عل اختراق هذه الأنسجة وبالتالي الجسم بأكمله بيسر وسهولة. تتحقق الحماية من إشعاعات غاما باستخدام طبقة سميكة من الماء أو التربة أو البيتون المسلح أو الجدران القرميدية وأيضاً بواسطة المعادن الثقيلة مثل الرصاص حيث تستخدم طبقة منه يصل سمكها إلى بضع سنتيمترات.

تصدر أشعة غاما بصفة عامة من إزالة الإثارة للنواة الناتجة عن إصدار ألفا أو بيتا وذلك وفق التفكك التالي:

$$ Y^{*} \rightarrow Y + {}^{0}_{0}\gamma $$

لنأخذ على سبيل المثال ناتج تفكك β^- عن الـ $^{60}_{27}Co$ حيث نجد أن: $^{60}_{28}Ni^{*} \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{0}\gamma$

ملاحظات *Remarks*

1ـ تختلف جسيمات β^- و β^+ عن الإلكترون و البوزيترون من حيث المصدر وليس من حيث الشكل الفيزيائي.

2 ـــــ عندما تدخل أشعة β^+ بتماس مع إلكترونات الوسط يحدث تفاعل إلغاء (إفناء) يترافق ذلك بتحرير شعاعين غاما بطاقة قدرها $0.511KeV$ يصدران بزاوية قدرها $180°$ أحدهما بالنسبة للآخر. يعتبر هذا الإصدار المضاعف لأشعة غاما مميز للنشاط الإشعاعي β^+.

4.3 التفكك الإشعاعي The radioactive decay

لا بدّ أولاً من أن نعرّفَ ما يلي:

النواة الأم الغير مستقرة وهي عبارة عن نواة العنصر المشع الأصلي القابلة للتفكك.

النواة البنت (الابن) الناتجة عن تفكك النواة الأم.

بناءً على ذلك يمكن أن نميز بين حالتين أساسيتين من التفكك الإشعاعي ترتبطان بحالة النوى البنت (الابن) الناتجة عن تفكك النواة الأم وهما:

a ـ حالة النوى البنت (الابن) المستقرة.

b ـ حالة النوى البنت (الابن) الغير مستقرة (سلسلة التكفك الإشعاعية).

سوف نقتصر في دراستنا على حالة النوى البنت (الابن) المستقرة، وفيما يلي نورد بالتفصيل أهم القوانين الخاصة بالتفكك الإشعاعي.

4.3.1 قانون التفكك الإشعاعي Radioactive decay law

في عام 1900 اكتشف العالم رذرفورد أن معدل إصدار الجسيمات من مادة مشعة غير ثابت مع الزمن ولكنه يتناقص أسياً (انظر الشكل 1)، وتشير خاصة الارتباط الأسي بالزمن والمميزة لكل النشاطات الإشعاعية إلى أن التفكك الإشعاعي هو عملية إحصائية، وأن احتمال التفكك الإشعاعي من أجل 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:

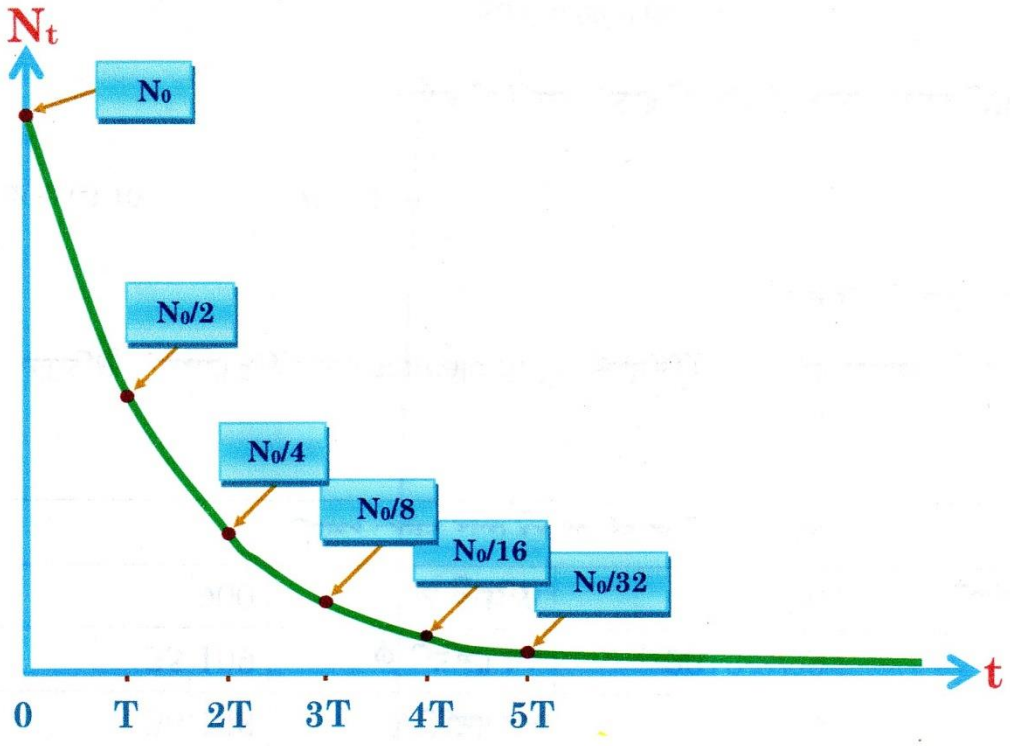
$$s^{-1}, min^{-1}, hr^{-1}, D^{-1}, yr^{-1}$$

تجدر الإشارة إلى أن ثابت التفكك λ يختلف من عنصر مشع لآخر وهو يحدد سرعة التفكك.

يعطى قانون التفكك الإشعاعي بالعلاقة التالية:

$$N_t = N_0 \times e^{-\lambda \times t} \qquad (1)$$

حيث N_0 تمثل عدد النوى القابلة للتفكك في اللحظة البدائية، $t = 0$، وN_t تمثل عدد النوى الباقية دون تفكك حتى اللحظة t.



الشكل (1)

4.3.2 عمر النصف (الدور) Half- life (period)

هو عبارة عن الزمن اللازم كي يتفكك نصف عدد النوى البدائية القابلة للتفكك يرمز له بـــ T أو $t_{1/2}$.
يرتبط عمر النصف بطبيعة المادة المشعة وبالتالي بثابت التفكك ولا يرتبط بعدد النوى البدائي N_0 ويعبر عن ذلك بالصيغة الرياضية التالية:

$$T = \frac{\ell n 2}{\lambda} \qquad (2)$$

يقدر عمر النصف (الدور) بإحدى الوحدات التالية: *s, min, hr, D, yr*

4.3.3 متوسط العمر (الاستمرارية) Mean lifetime (continuity)

هو عبارة عن الزمن اللازم لتفكك $\frac{1}{e}$ من عدد النوى البدائية القابلة للتفكك يرمز له بالرمز τ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ell n_2} = 1.44 \times T$$

يقدر العمر الوسطي τ بإحدى الوحدات التالية: *s, min, hr, D, yr*

4.3.4 النشاط (الفعالية) The activity

هو عبارة عن عدد النوى المتفككة خلال وحدة الزمن ويرمز لها بالرمز A. من المعروف بأن المقدار الذي يتم قياسه تجريبياً هو النسبة $\left|-\frac{dN}{dt}\right|$ أو كمية تتناسب معها وتسمى هذه النسبة معدل التفكك الإشعاعي أو سرعة التفكك الإشعاعي.

بالاعتماد على العلاقة (1) يمكن التعبير عن النشاط (الفعالية) بالصيغة الرياضية التالية:

$$A_t = \left|-\frac{dN_t}{dt}\right| = \lambda \times N_t = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda \times t} = A_0 \times e^{-\lambda \times t} \qquad (4)$$

حيث $A_0 = \lambda \times N_0$ يمثل الفعالية للعنصر المشع في اللحظة البدائية.

وN_t تمثل عدد النوى المتفككة حتى اللحظة t. ترتبط الفعالية بطبيعة العنصر المشع وبعدد النوى القابلة للتفكك الموجودة في اللحظة t. تقدر الفعالية حسب الجملة الدولية بـ *decay/s* والتي تُسمى البيكريل ويرمز لها بالرمز *Bq* حيث $1Bq = 1\ decay/s$ أما في الجملة السغثية فتقدر بالكوري ويرمز لها بالرمز *Ci* حيث $1\ Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$.

4.3.5 العلاقة بين كتلة العنصر المشع، فعاليته ودوره

Relationship between the radioelement mass, its activity, and its period

من المعروف بأن m غرام من عنصر مشع دوره T وكتلته الذرية M_A يحتوي على $N = \frac{N_{Av}}{M_A} \times m$ ذرة حقيقية مشعة. في هذه الحالة تتحدد الفعالية لهذا العنصر المشع بالعلاقة التالية:

$$A = \lambda \times N = \lambda \times \frac{N_{Av}}{M_A} \times m = \frac{\ell n_2}{T} \times \frac{N_{Av}}{M_A} \times m \qquad (5)$$

تقدر A بالـ *Bq* وλ بالـ s^{-1} وT بالـ *s* أما m و M_A فتقدر كل منهما بالـ *g*.

ملاحظة *Remark*

اعتماداً على العلاقة (2) يمكن كتابة كل من العلاقتين (1) و(4) بالصيغ المختزلة التالية:

$$N_t = \frac{N_0}{2^n} \qquad (6) \qquad \text{أو} \qquad A_t = \frac{A_0}{2^n} \qquad (7)$$

حيث $n = \frac{t}{T}$ تمثل عدد أعمار النصف (الدور) خلال الفترة الزمنية t.

4.4 عناصر التقفي (الاقتفاء) الإشعاعية Radioactive tracers

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

1ــ صالحاً من وجهة النظر الفيزلوجية، أي يَسِمُ نوعاً خلوياً بشكل اصطفائي أو يتثبت على بنية يراد إظهارها أو يتوزع في مواصفة فيزيولوجية يطلب قياسها كاليود مثلاً الذي يستخدم في فحص وعلاج الغدة الدرقية.

2ــ قادراً على الاقتران بجزيءٍ نوعي أو متجهة شديدة الإلفة للعضو الذي يطلب إظهاره أو للظواهر المرضية التي يبحث عنها، دون أن يغير من صفات ذلك الجزيء.

3 ـ مصدراً لفوتونات غاماوية لأنها الوحيدة التي تسمح باستكشاف الجسم البشري بدءً من الخارج.

4 ــ أن تكون طاقة الفوتونات التي يصدرها تتراوح بين 100 إلى $400\ keV$ في الجسم الحي وقابلة للكشف باستخدام كاميرا غاماوية. فإذا كانت طاقة الفوتونات ضعيفة جداً يمتص أغلبها في النسج الرخوة والجلد. وإذا 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 $150keV$. تجدر الإشارة إلى أن العنصر المشع الأكثر استخداماً في مجال الطب النووي هو التكنيسيوم ^{99m}Tc والذي يصدر عنه إشعاع غاما بطاقة قدرها $140keV$.

5 ــــ أن يكون دور العنصر المشع قصيراً، فكلما قصر كان عدد الإصدارات التي يسجلها الكاشف أكبر خلال مدة الفحص ويسمح أيضاً بالحصول على صور أفضل و بتشعيع أقل نظراً لسرعة اختفاء الذرات المشعة بعد إجراء الفحص مثل التكنيسيوم ^{99m}Tc الذي يُقدر عمر النصف له بست ساعات.

6 ــــ أن يكون غير خطير، أي يجب أن لا تشكل الجرعة المستخدمة في الجسم الحي خطراً على مستقبله.

4.4.1 استخدام النظائر المشعة في الطب Radioisotopes uses in medicine

تستخدم النظائر المشعة بكثرة في الطب ولاسيما في الأهداف العلاجية والتشخيصية والدراسية. وكانت أولى استخدامات النظائر المشعة في دراسات حركية في الجسم الكائن الحي *(in vivo)*، وهي ترتبط بشدة مع علم الفيزيولوجيا في محاكمتها، كما هو الحال في التجديد وفي التدفق وفق الفقدان ومراكز التشظي. وهي ذات أهمية وخاصة في علم الدم كما في حجم الدم وأعمار الخلايا وحركية الحديد، وفي علم الجهاز الهضمي كامتصاص فيتامين *B12* والحديد والكالسيوم، وفي علم العقاقير كامتصاص الأدوية وطرحها وتوزعها في مختلف أنحاء العضوية الحية وتفاعل الأدوية فيما يتعلق بامتصاصها، وفي الصحة العامة كما في دراسة مسالك الرفد الإضافية بالحديد أو الفيتامين ودراسة تأثيرات العادات الغذائية والمطبخية في امتصاص الأغذية الضرورية. كما تستخدم النظائر المشعة في تصوير الإشعاع الذاتي الذي يقوم على تتبع الانقسام الخلوي في داخل الزجاج *(in vitro)* أو تتبع بعض الاصطناعات البروتينية في زراعات خلوية أو على مقاطع نسيجية وذلك باستخدام طلائع موسومة بالكربون ^{14}C أو بالتريتيوم ^{3}H ولاسيما طلائع *DNA*. كما تستخدم النظائر المشعة في التصوير الومضاني الذي يقابل التصوير الشعاعي التقليدي بالأشعة السينية ولكنه يتميز عنه بثلاث مزايا خاصة، يمكن أن تكون هامة سريرياً إذا تمكنا من كيفية استغلالها وهي:

1ـــ النوعية في وسم أحد عناصر التقفي لعضو أو نسيج سليم أو خبيث بصورة اصطفائية كاليود في الغدة الدرقية وفوسفونات التكنيسيوم في النسيج العظمي والثاليوم في احتشاءات العضلة القلبية والأضاد وحيدة النسيلة الموسومة في السرطانات والنقائل.

2 ـــ الطابع الكمي الذي يسمح بقياس تراكم عنصر التقفي في موقع أو آخر وذلك بإجراء حسابات معقدة أحياناً يمكن أن يكون لها قيمة علاجية.

3 ـــ الطبيعة الدينامية، حيث يسمح الكاشف (يتكون من كاميرا ومضانية مقترنة بأجهزة حاسوبية مناسبة) بقياس تطور تثبيت عنصر التقفي واختفائه في كل من قطاعات الكشف الفراغية بدلالة الزمن. تدخل النظائر المشعة أيضاً في دراسات المناعة الشعاعية وهي طريقة منافسة لتقدير جرعات الكميات الضئيلة من المواد التي لا يمكن معها استخدام الطرق الكيميائية التقليدية تقديراً دقيقاً. فالنظير هنا ليس إلا عنصر التقفي للمستضد أو للضد ولا تشكل الجرعات الصغيرة أي خطر على الأشخاص أو على الوسط المحيط. وقد تطورت كذلك تقانات أخرى تستخدم النظائر المشعة (مثل الكوبالت والراديوم والسيزيوم والفوسفور واليود والإيريديوم والذهب) للأهداف العلاجية، فالنظير المشع للكوبالت يستخدم عند معالجة الخراجات الخبيثة كمصدر لإشعاعات غاما. كما يستخدم الكوبالت المشع في المعالجة

الداخلية حيث تغرز إبرة تحوي رأساً رفيعاً من الكوبالت المشع في أنسجة الجسم، كما تستخدم في المعالجات الطبية النظائر المشعة (الفوسفور لمعالجة أمراض الدم، واليود لمعالجة الغدة الدرقية)، حيث يعتمد الأثر العلاجي لهذه النظائر على تركُز هذه المواد في أعضاء ونسج محددة مؤثرة بإشعاعاتها على النسج المحيطة بها فمثلاً يتركز الفسفور الفعّال في المادة الصلدة من العظام القصبية ويتفكك كما يلي:

$$^{32}_{15}P \rightarrow ^{32}_{16}S + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

لذلك فهو يقذف النخاع العظمي الموجود في قناة العظم بالإلكترونات مما يؤدي إلى تنظيم الخلل الحاصل أثناء إنتاج الدم. أما اليود المشع ^{131}I فيتجمع في الغدة الدرقية حيث يتفكك قاذفاً الأجزاء الداخلية لها بجسيمات β الناتجة عن تفككه بطاقة قدرها $606keV$ ويستخدم اليود المشع بكثرة كمادة تشخيصية لأمراض الغدة الدرقية ولأورام الدماغ ويُعطي بالإضافة إلى إشعاعات β فوتونات غاما بطاقة قدرها $364keV$ لذلك تستطيع هذه الفوتونات أن تنفذ إلى خارج الجسم وبالتالي استكشافه.

4.4.2 الدور الحيوي والدور الفعلي Biological period and effective period

يتفكك عنصر الإقتفاء الإشعاعي داخل الكائن الحي وفق آليتان هما:

1 ـ فيزيائية وتتميز بالدور الفيزيائي T_{phy} وهو عبارة عن الدور للعنصر المشع.

2 ـــ بيولوجية وتتميز بالدور الحيوي T_{bio} وهو عبارة عن الزمن اللازم لطرح نصف كمية العنصر المشع الممتصة من قبل الجسم خارجاً.

لذلك يمكن أن يختفي عنصر التقفي من العضوية إما بالتفكك الذي يرتبط بالدور الفيزيائي T_{phy} أو بطرحه خارجاً. وترتبط العملية الأخيرة بطبيعة المتجهة الكيميائية ووظائف العضوية الحيوية كشدة الاستقلاب أو الطرح وتتميز بالدور الحيوي T_{bio} للمتجه المفروض في العضوية المفروضة لذلك ينجم تغير في معدلات العد التي يسجلها الكاشف. بناءً على ذلك أُعتمد على تعريف دور ثالث للعنصر المشع ودعي بالدور الفعلي T_{eff} حيث يرتبط مع كل من الدورين الفيزيائي والحيوي بالعلاقة التالية:

$$T_{eff} = \frac{T_{phy} \times T_{bio}}{T_{phy} + T_{bio}}$$

والدور الفعلي هو أصغر من كل من الدورين الفيزيائي والحيوي.

حل المسألتين التاليتين:

المسألة الأولى:

حدد عدد جسيمات α و β الناتجة عن التفكك الإشعاعي التالي:

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{206}_{82}Pb$$

المسألة الثانية:

حدد أي من هذه التفاعلات النووية هو ممكن الحدوث وأيها غير ممكن.

$$^{14}_{7}N + \alpha \rightarrow {}^{16}_{8}O + {}^{1}_{0}n$$

$$^{14}_{7}N + n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{0}_{0}\gamma$$

$$^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{208}_{82}Pb + 6\times {}^{4}_{2}\alpha + 4\times {}^{0}_{-1}\beta^{-}$$

إضافات مدرس المقرر