الفصل الثالث

وحدات الإشعاع

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثالث

وحدات الإشعاع

3ـ1 امتصاص الطاقة:

تنتقل الطاقة ـ تمامًا كما ينتقل كل من الحرارة والضوء ـ بواسطة الإشعاع من الشمس إلى الأرض أو الجو، وكذلك الإشعاع النووي ينقل الطاقة من المصدر إلى الوسط المستقبل، وقد يكون مصدر الإشعاع النووي ذرات مشعة أو جهازًا مثل جهاز الأشعة السينية.

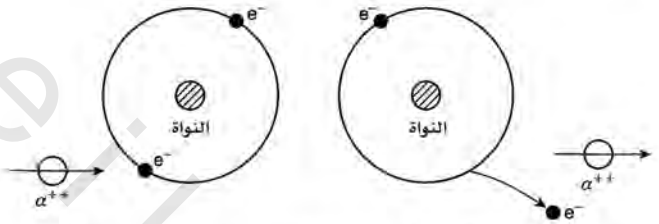
إن تأثير امتصاص الأنواع الأخرى الشائعة من الإشعاع –كالحرارة– هو رفع درجة حرارة الوسط المستقبل، فإذا ما كان هذا الوسط هو الجسم البشري أو جزءًا منه، فإن ارتفاع درجة الحرارة يمكن إحساسه، فإذا ما حصل المزيد من الحرارة، فسوف يتخذ الإجراء اللازم لمنعها، إما بالاحتماء بالظلال – على سبيل المثال – **(الحواجز الواقية)** أو بالتحرك بعيدًا عن النار **(المسافة)**. في حين إن جرعة من أشعة جاما أو من أي إشعاع نووي آخر، عالية لدرجة تكفي لقتل إنسان لا ترفع درجة حرارة الجسم إلا بأقل من واحد بالألف من الدرجة المئوية. ومن ثم، فإن الجسم غير قادر على الإحساس حتى بالتركيزات العالية جدًّا من هذه الأنواع من الإشعاع.

إن الإشعاع النووي يختلف عن الحرارة والأنواع الأخرى من الإشعاع، وذلك لأن كل جسيم أو فوتون يحمل طاقة هائلة ملائمة لإحداث تأين، وسبب هذه الطاقة العالية سرعة الجسيمات الهائلة، أو قصر الأطوال الموجية لكل من الأشعة السينية وإشعاع جاما.

3ـ2 التأين:

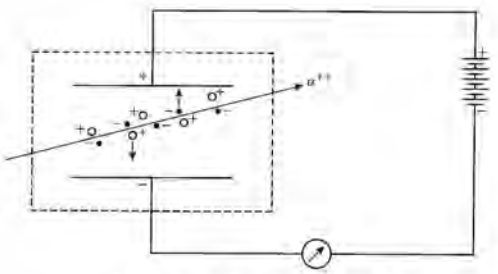
التأين: عبارة عن فقدان الذرة لأحد إلكترونات المدار، ومادام الإلكترون قد فقد، تصبح شحنة الذرة موجبة. ويعرَف كل من الذرة والإلكترون المنفصل عنها **بزوج**

أيوني، حيث الأيون الموجب هو (الذرة) ناقص إلكترون والأيون السالب (الإلكترون). وتكفي كمية صغيرة من الطاقة لإحداث التأين؛ لذا فبإنتاج أزواج أيونية فإن جسيمات الإشعاع أو فوتوناته تخسر من طاقتها إلى الوسط. يبين شكل (3-1) تأين ذرة الهليوم بواسطة جسيم ألفا.



شكل (3-1) تأين ذرة الهليوم بواسطة جسيم ألفا

يعود اتحاد الأيونات الموجبة والسالبة ـ عادة ـ لتكوين ذرات متعادلة، والطاقة الممنوحة ـ أساسًا ـ إلى زوج الأيون تتحول إلى طاقة حرارية، فإذا ما كان الوسط المستقبل غازًا ـ كالهواء ـ فيمكن منع الأيونات من إعادة الاتحاد بتسليط مجال كهربائي. ويتم هذا بوضع جهد بين لوحين (قطبين) بينهما فجوة غازية. يبين الشكل (3 – 2) مثل هذا الجهاز، والمعروف باسم **غرفة التأين**، وفيه تنتج أزواج الأيونات على خط مسار دقائق ألفا، فإذا ما كان فرق الجهد المسلط مرتفعًا إلى حد كافٍ، فسوف تنجذب الأيونات السالبة الناتجة في الحيز المحصور بين القطبين نحو القطب الموجب، وتتجه الأيونات الموجبة نحو القطب السالب.



شكل (3-2) جهاز غرفة التأين

يؤدي سيل الأيونات المنسابة نحو الأقطاب المناسبة إلى تيار كهربائي، ولأن هذا التيار يتناسب مع كثافة الإشعاع، فهذا يعني أن غرف التأين توفر طرقًا لقياس الإشعاع. ولا بد من التنويه إلى أنه على الرغم من ظهور العدد القليل من أزواج الأيونات في الرسم، فهناك مئات عدة من أزواج الأيونات تتكون في السنتيمتر الواحد في حالة جسيمات بيتا في مسار الهواء، وفي حالة جسيمات ألفا ترتفع إلى بضع عشرات الألوف.

في وسط كالماء (حيث معظم تكوين الجسم البشري منه) يمكن للتأين أن يؤدي إلى تحطيم جزيئات الماء، وتكوين أشكال كيميائية متلفة للمواد الحية. ومن هنا كانت التأثيرات المضرة للإشعاع على الجسم البشري ـ التي ستوصف في الفصل الرابع ـ يمكن عزوها إلى حد كبير لمثل هذه التفاعلات الكيميائية.

وتأين الغاز ـ كما شرح آنفًا ـ يهيىء طرق اكتشاف الإشعاع، وإن أول وحدة إشعاعية استعملت على مدى واسع، كانت **الرونتجن** قد وضعت على أساس أثر تأين الهواء بكل من الأشعة السينية وأشعة جاما. وعلى هذه الوحدة تحفظات عدة، لذا فقد ظهرت وحدتان أخريان هما:- **الراد (rad)**، **والريم (rem)**، واستبدلتا فيما بعد في النظام الدولي بكل من **الجراي (Gy)** **والسيفرت (Sv)** على التوالي.

لقد تم توثيق كل من الوحدتين (جراي) و(سيفرت) من قبل الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع والقياسات (ICRU)، واستعملت من قبل الهيئة العالمية للحماية الإشعاعية (ICRP)، ولكن لا تزال الوحدتان القديمتان ـ الراد والريم ـ تستخدمان في بعض البلدان، ويوضح الملحق " أ " العلاقة بين الوحدات القديمة ووحدات النظام الدولي.

3ـ3 جرعة الامتصاص:

هي مقدار الطاقة المترسبة ـ في أي وسط ـ من قبل أي نوع من أنواع الأشعة المؤينة. ولقد كانت الوحدة الأصلية لجرعة الامتصاص هي راد التي عرفت على أنها "طاقة مترسبة قدرها 0.01 جول/كغم".

إن وحدة جرعة الامتصاص في النظام الدولي للوحدات تدعى **جراي (Gy)**، وتعرف على أنها "ترسب طاقة قدرها 1 جول/كغم". إذن:

1 جراي (Gy) = 1 جول/كغم

ومن المهم، عند ذكر جرعة الامتصاص أن يحدد وسط الامتصاص.

4.3 الجرعة المكافئة:

مع كون كمية **جرعة الامتصاص** فكرة فيزيائية مفيدة، فإنها لا تعكس مفهوم التساوي في درجة التلف ـ للأجهزة الحية ـ الناتجة عن نفس جرعة امتصاص الأنواع المختلفة من الإشعاع، ولقد وجد ـ على سبيل المثال ـ أن 0.05 جراي من النيوترونات السريعة يمكنها إحداث تلف بيولوجي مماثل لما يحدثه 1 جراي من إشعاع جاما، وهذا الفرق في التأثير البيولوجي يجب أخذه في الحسبان إذا ما رغبنا في جمع جرع من مختلف الإشعاعات لإيجاد الجرعة الكلية للتأثير البيولوجي، ولإنجاز هذا يجب ضرب جرعة الامتصاص لكل نوع من الإشعاع **بمعامل الإشعاع النوعي** (w_R)، الذي يعكس قابلية ذلك الإشعاع لإحداث تلف، وعندما تضرب جرعة الامتصاص بمعامل الإشعاع النوعي تعرف الكمية الناتجة باسم **الجرعة المكافئة**.

ووحدة الجرعة المكافئة في النظام الدولي للوحدات هي **سيفرت (Sv)** ويمكن ربطها بالجراي (Gy) كالآتي:

الجرعة المكافئة (Sv) = جرعة الامتصاص (Gy) × معامل الإشعاع النوعي (w_R).

وقيمة معامل الإشعاع النوعي (w_R) تعتمد على كثافة التأين المتسبب عن الإشعاع، حيث ينتج جسيم ألفا نحو مليون زوج أيوني في المليمتر الواحد من المسار في النسيج، في حين جسيم بيتا ينتج نحو عشرة آلاف منها في المليمتر الواحد. لقد اتخذ معامل الإشعاع

النوعي (w_R) قيمة الواحد لإشعاع جاما، وحددت قيم بقية أنواع الإشعاع بموجبه حسب كثافة تأيناتها.

ولأن أشعة بيتا تسبب تأينًا مساويًا بكثافته لما يتسبب عن أشعة جاما، فإن معامل إشعاعها النوعي (w_R) سيتخذ الرقم (1) أيضًا. أما بالنسبة إلى النيوترونات، فإن معامل إشعاعها النوعي (w_R) يعتمد على طاقتها؛ لذا فقيمته تتراوح بين (5) للنيوترونات الحرارية و(20) للنيوترونات السريعة، ويتخذ المعامل (w_R) القيمة (20) لجسيمات ألفا والجسيمات الأخرى المضاعفة الشحنة.

إن قيم (w_R) للإشعاعات - التي غالبًا ما تواجهها - ملخصة في الجدول (3-1).

جدول (3 - 1) خلاصة قيم معامل الإشعاع النوعي (w_R)

نوع الإشعاع	معامل الإشعاع النوعي (w_R)
الأشعة السينية، أشعة جاما، الإلكترونات	1
البروتونات	5
النيوترونات الحرارية	5
النيوترونات السريعة	20 - 5
جسيمات ألفا، نواتج الانشطار النووي	20

(1) يعتمد على طاقة النيوترونات.

مثال 3-1:

تعرض عامل في سنة واحدة إلى جرعة جاما (γ) قدرها 0.01 جراي وجرعة نيوترونات حرارية (N_s) قدرها 0.0001 جراي، وجرعة نيوترونات سريعة (N_f) قدرها 0.0002 جراي، فما الجرعة المكافئة الكلية؟

الحل:

الجرعة المكافئة = جرعة الامتصاص × معامل النوعية

الجرعة المكافئة لإشعاع جاما = 0.01 × 1 = 0.01 سيفرت

الجرعة المكافئة للنيوترونات الحرارية = 0.001 × 5 = 0.005 سيفرت

الجرعة المكافئة للنيوترونات السريعة = 0.0002 × 20 = 0.004 سيفرت

الجرعة المكافئة الكلية = 0.019 سيفرت

سنشير إلى **الجرعة المكافئة** من الآن فصاعدًا "بالجرعة" للسهولة، عند أَمْنِ اللبس.

3-5 الجرعة المؤثرة:

تتباين الأعضاء والأنسجة المختلفة في حساسيتها للإشعاع، وهذا قد عقّد الأمر في التعامل مع تعرض الجسم غير المتجانس للإشعاع، وهو أمر معتاد في التعرضات الإشعاعية؛ لذا فإن هناك حاجة لإدخال مصطلح آخر يسمى (**الجرعة المؤثرة**) ويحصل عليه من جمع الجرع المكافئة لكل أنسجة الجسم وأعضائه بعد ضرب كل واحد منها بمعامل النسيج النوعي (w_T) الخاص به. ويمكن كتابة ذلك بالمعادلة الآتية:

$$\text{الجرعة المؤثرة } (E) = \text{مجموع } (\text{الجرعة المكافئة } (H_T) \times \text{معامل النسيج النوعي } (w_T))$$

حيث إن (H_T) هو الجرعة المكافئة للنسيج (T). إن أساسات معاملات الأنسجة النوعية مناقشة كذلك في الفصلين الرابع والسابع. وينبغي الإشارة هنا إلى أن وحدة الجرعة المؤثرة هي أيضًا تستخدم وحدة السيفرت (Sv).

3-6 الأجزاء العشرية:

في مجال مستويات التعرض الإشعاعي المهني الذي يواجه في بيئة العمل، يصبح كل من الوحدتين جراي وسيفرت كبيرًا جدًّا وغالبًا ما يكون ملائمًا استخدام وحدات

أصغر باستعمال أي من الإضافتين **ملي** (واحد بالألف) والمرموز له بالحرف (m)، أو **مايكرو** (واحد بالمليون) والمرموز له بالحرف (μ)، ولهذا فإن:

1 جراي = 1000 ملي جراي = 1000000 مايكرو جراي.

1 سيفرت = 1000 ملي سيفرت = 1000000 مايكرو سيفرت.

مثال 3-2:

تعرض عامل سيطرة في مفاعل نووي خلال ثلاثة أيام متتالية إلى جرعة من إشعاع جاما كالآتي:

اليوم الأول 95 مايكرو سيفرت.

اليوم الثاني 5 مايكرو سيفرت.

اليوم الثالث 1 ملي سيفرت.

فما الجرعة الكلية له مقدرة بالملي سيفرت عبر الأيام الثلاث؟

اليوم	الجرعة المكافئة	ملي سيفرت
1	95 مايكرو سيفرت = $\frac{95}{1000}$ ملي سيفرت	0.095
2	5 مايكرو سيفرت = $\frac{5}{1000}$ ملي سيفرت	0.005
3	1 ملي سيفرت = $\frac{1000}{1000}$ ملي سيفرت	1.000

الجرعة الكلية = $\frac{1100}{1000}$ ملي سيفرت = 1.1 ملي سيفرت.

3-7 معدل الجرعة:

تعبر الوحدتان جراي وسيفرت عن كمية الإشعاع التي قد يتعرض لها الإنسان عبر أي مدة زمنية، ومن أجل السيطرة على أخطار الإشعاع يصبح من المهم معرفة المعدل الذي تم التعرض فيه للإشعاع. والعلاقة بين الجرعة ومعدل الجرعة والزمن كالآتي:

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

ولهذا، فإذا ما اشتغل رجل في منطقة ما مدة ساعتين، وتعرض لجرعة قدرها 4 ملي سيفرت فإن **معدل الجرعة** 2 ملي سيفرت/ ساعة. وهكذا يتم التعبير عن معدل جرعة الامتصاص بوحدة جراي/ ساعة.

مثال 3-3:

اذا ما سمح لرجل التعرض إلى جرعة قدرها 1 ملي سيفرت في الأسبوع، فكم ساعة يمكنه العمل في مكان معدل الجرعة فيه 50 مايكرو سيفرت/ ساعة؟

الجرعة = معدل الجرعة × الزمن

الزمن = 1 ملي سيفرت / (50 مايكروسيفرت/ ساعة)

= 1000 مايكروسيفرت / (50 مايكروسيفرت/ ساعة) = 20 ساعة.

3-8 الفيض:

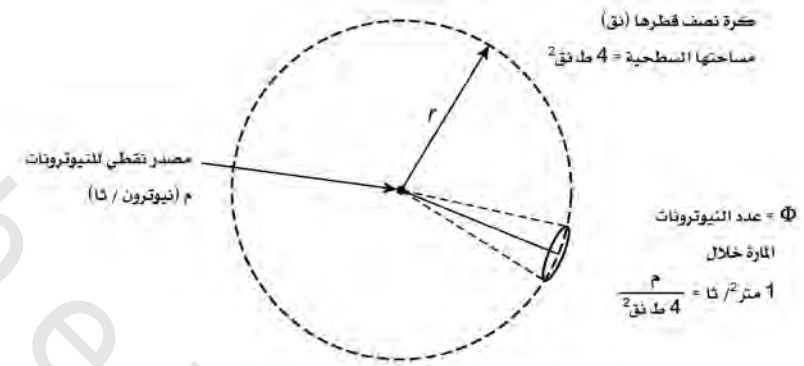
يعبر عن المجال الإشعاعي غالبًا بعدد الجسيمات أو الفوتونات المارة خلال مساحة قدرها متر مربع في ثانية واحدة. ويطلق عليه اسم **معدل التدفق**، ولكن من المعتاد تسميتها **الفيض**، ويرمز إليه (ϕ).

وتوضح هذه الفكرة جيدًا بالمثال العملي الآتي:

افترض مصدرًا على هيئة نقطة يشع نيوترونات بمعدل م لكل ثانية، (انظر الشكل 3-3) فيكون الفيض على مسافة (نق) هو عدد النيوترونات المارة خلال مساحة قدرها متر مربع في الثانية، ومادامت النيوترونات تشع بانتظام في جميع الاتجاهات، فإن الفيض على بعد (نق) هو عدد النيوترونات المنبعثة في الثانية مقسومًا على المساحة السطحية للكرة ذات نصف قطر (نق)، وهذه المساحة قدرها 4 ط نق^2، ولهذا فإن الفيض (ϕ) يعطى بالمعادلة:

ϕ = م \(4 ط نق^2) نيترون لكل متر مربع في الثانية

حيث ط هي النسبة الثابتة π = 3.14



الشكل (3 - 3) فيض من مصدر نقطي

لاحظ أنه عندما تضاعف (نق)، فإن نق^2 تتضاعف أربع مرات، وبهذا يتناقص الفيض إلى الربع، وهذه العلاقة هي **قانون التربيع العكسي** الذي سنتعامل معه بتفصيل أكبر في الفصل الثامن.

مثال 3-4:

احسب الفيض على بعد 0.5 متر من مصدر يشع 2 × 10^7 نيوترون/ ثانية.

الحل:

$$\phi = م/(4 \text{ ط } نق^2)$$

$$= (2\times10^7)/(4 \text{ ط } \times0.5\times0.5) = 6.4 \times 10^6 \text{ ن/ (م}^2\text{. ثا)}$$

مثال 3-5:

احسب فيض فوتونات جاما على بعد متر واحد من مصدر (كوبالت 60) ذي 0.1 تيرابيكريل (يشع الكوبالت-60 إشعاعيين جاميين في كل تحلل).

الحل:

نحن نعلم من الفصل الثاني أن 0.1 تيرابيكريل تساوي 10^{11} تحلل/ثانية، ولكنّ للكوبلت 60 (^{60}Co) فوتونان من إشعاع جاما، إذن:

م = 2×10^{11} فوتون / ثانية.

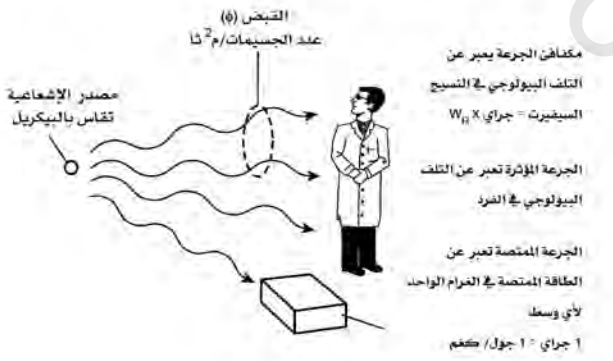
ϕ = م/(4 ط نق^2) = 2×10^{11}/(4 ط × (1)^2)

= 1.6×10^{10} فوتون/(م^2.ثا)

3ـ9 العلاقة بين الوحدات:

توضح العلاقة بين الوحدات التي عرضت توًّا بالشكل (3 ـ 4). حيث الجراي يصف جرعة الامتصاص لأي وسط، والسيفرت يعبر عن التأثير البيولوجي على الجسم الإنساني. ومن الواضح أن التأثير البيولوجي للإشعاع هو مناط الاهتمام في الفيزياء الصحية، لذا يجب استعمال الجرعة المكافئة أوالجرعة المؤثرة متى كان ذلك ممكنًا.

في الفيزياء الصحية اليومية، يستعمل المصطلح **جرعة** بشكل مهلهل ـ غالبًا ـ ليعني أيًّا من الكميات: **جرعة الامتصاص**، أو **الجرعة المكافئة**. وفي الفصول الآتية، ستستعمل كلمة جرعة، ويراد بها **الجرعة المكافئة** أو **الجرعة المؤثرة** تبعًا للنص.



شكل (3ـ 4) العلاقة بين الوحدات

خلاصة الفصل:

الإشعاع: ينقل الطاقة من المصدر إلى الوسط الماص.

التأين: إزالة إلكترون مداري، وإنتاج أزواج أيونية.

غرفة التأين: استخدام مجال كهربائي لإحداث تيار من الأيونات.

جرعة الامتصاص: ترسب الطاقة في أي وسط من قبل جميع أنواع الأشعة المؤينة،

1جراي = 1 جول/ كغم.

الجرعة المكافئة: مقياس للتأثير البيولوجي للإشعاع، ووحدته سيفرت (Sv).

الجرعة المكافئة = جرعة الامتصاص × معامل الإشعاع النوعي.

معامل الإشعاع النوعي w_R: قياس لقابلية نوع ما من الإشعاع لإحداث تلف بيولوجي يرتبط بكثافة التأين، w_R يساوي: (1) لكل من أشعة بيتا والأشعة السينية وأشعة جاما، (5) للبروتونات والنيوترونات الحرارية، (5-20) للنيوترونات السريعة و(20) لجسيمات ألفا.

الجرعة المؤثرة: مؤشر لتأثير الإشعاع على الجسم بكامله حينما تتعرض الأنسجة المختلفة في الجسم لجرع مكافئة متباينة.

معامل النسيج النوعي w_T: معامل يعكس الحساسية الإشعاعية لنسيج ما أو عضو.

الجرعة: وتساوي معدل الجرعة × الزمن.

الفيض: مقداره من المصدر النقطي = م / (4 ط نق^2).

أسئلة للمراجعة:

1- ما التأين؟ وكيف يمكن استعماله لقياس الإشعاع؟

2- ما المقصود بـ (**جراي**)؟

3- اشرح لماذا تصبح وحدة **سيفرت** أكثر ملاءمة للاستعمال في الفيزياء الصحية من جراي؟

4- اشرح فكرة **الجرعة المكافئة والجرعة المؤثرة**؟

5- احسب الفيض النيوتروني على بعد 0.3 متر من مصدر نيوترونات يشع 3×10^{7} نيوترون في الثانية.

6- اشتغل عامل سيطرة في مفاعل نووي مدة أسبوع واحد، حيث أمضى أربع ساعات في مكان فيه معدل الجرعة لكل من جاما والنيوترونات 5 مايكروسيفرت/ ساعة و7 مايكروسيفرت/ ساعة على التوالي، ثم قضى 18 ساعة في مكان فيه معدل الجرعة لإشعاع جاما 2 مايكروسيفرت/ ساعة (من دون إشعاع نيوتروني). احسب جرعته مقدرة بالسيفرت لهذا الأسبوع؟

7- تعرض عامل في سنة واحدة لجرعة خارجية مقدارها 1 ملي سيفرت (على افتراض تعرض متجانس لسائر الجسم). وتعرضت الغدة الدرقية لجرعة مكافئة مقدارها 4 ملي سيفرت نتيجة تناول مادة مشعة، علمًا بإن معامل النسيج النوعي للغدة الدرقية هو 0.05، احسب الجرعة المؤثرة لهذه السنة.