الفصل
التاسع

# التأثير المتبادل مابين الأشعة والمادة

# *Mutual Interaction Between Radiation & Matter*

## 9-1 مقدمة *Introduction*:

يتعلق الأثر البيولوجي *biological effect* الحاصل بسبب تعرض المادة الحية للأشعة بطبيعة الأشعة *radiation nature* وبمقدار الطاقة الممتصة *absorpted energy*.

إن الهدف من قياس الجرعة الاشعاعية *radiation dose* هو تحديد مقدار الطاقة الممتصة، وذلك للأسباب التالية:

1- تقدير الخطر المحتمل من استخدام تقنيات التشخيص للأشعة المؤينة.

2- تقدير آثار العلاج على النسج الورمية وكذلك على النسج السليمة المجاورة.

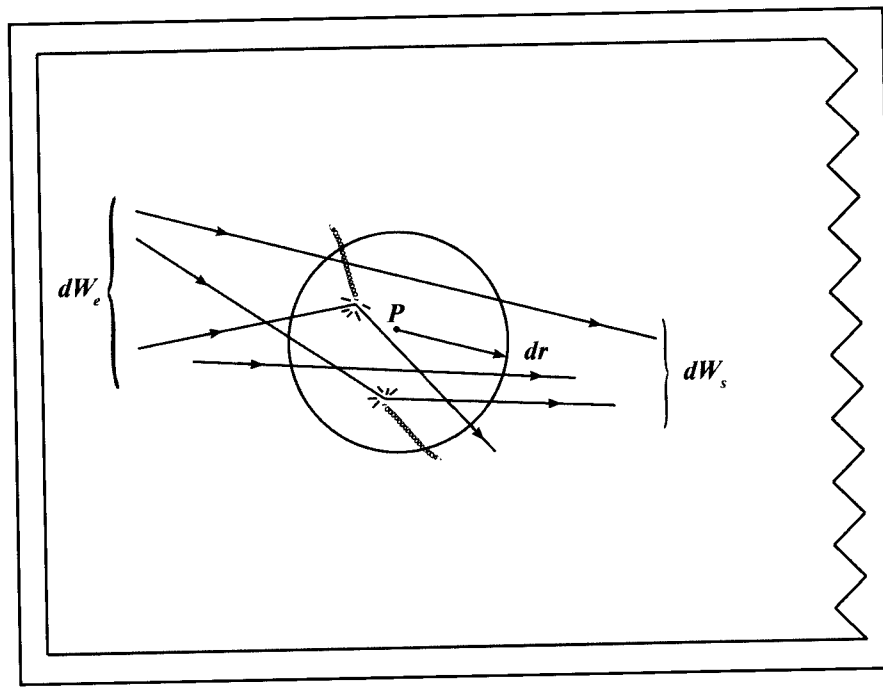
3- تحديد نوع الحماية من الأشعة بشكل فردي أو جماعي.

وفي جميع الحالات عندما تلاقي الأشعة المادة وتبدأ باجتيازها تفقد تدريجياً طاقتها محدثة فيها تأيناً *ionization* على امتداد مسارها وتنتهي بالتوقف.

ويكون هذا التأين مباشراً في حالات الأشعة الفا $(\propto)$ أو بيتا $(\beta)$ وغير مباشر في حالة أشعة غاما $(\gamma)$، يسمح هذا التأين بكشف الأشعة وامتصاصها وبشرح التأثيرات على الكائنات الحية، وبغية تحديد المقدار الكمي للأشعة الممتصة سنتعرض لبعض المفاهيم الأساسية *basic concepts* المستخدمة في الوقاية الاشعاعية *radiation protection*.

### 1- مفهوم الكيرما:

لنأخذ كرة من داخل مادة متجانسة معرضة للاشعاع، نصف قطرها *radius* $(dr)$ وكتلتها *mass* $(dm)$ ومركزها $(P)$ انظر (الشكل 1-9).




الشكل (1-9)

فخلال مدة التعرض للأشعة فإن بعض الفوتونات تدخل الكرة فتنقل طاقة كلية *total energy* مقدارها $(dW_e)$، كما أنه خلال نفس المدة يخرج من الكرة إما فوتونات تجتازها بدون تأثير متبادل وإما فوتونات مشتتة ناتجة عن التأثير المتبادل ما بين الفوتونات الواردة وذرات الكرة.

لتكن $(dW_s)$ الطاقة الكلية للفوتونات *total photons energy* التي تخرج من الكرة وأن الفرق: $(dW_d = dW_e - dW_s)$ يمثل الطاقة المنقولة بالفوتونات الواردة على المادة حيث لا نأخذ بعين الاعتبار إلا الانتقالات التي تحدث داخل الكرة. وأن هذه الطاقة ستوجد على شكل طاقة حركية *kinetic energy*، منقولة إلى الالكترونات، وفقاً لأيٍ من (التأثير الكهرضوئي *photo-electric effect*، تأثير

كمبتون *Compton effect*) أو الازواج الكترونات - بوزيترونات *electron-position pairs* ونطلق اسم كيرما على المقدار: $\left(K = \frac{dW_d}{dm}\right)$ ويعبر عن الكيرما بوحدة القياس الغري *Gy (gray)* .

$$Gy\ (1Joule/kg = 1Joule \cdot kg^{-1})$$

وتستخدم غالباً وحدة أخرى هي الراد *radiation absorbed effect (Rad)* ويساوي إلى *(100erg/gr)* .

$$(1rad = 10^{-2}\,gray)$$

ومن المعروف أيضاً أن الارغ *Erge* من أجزاء الجول.

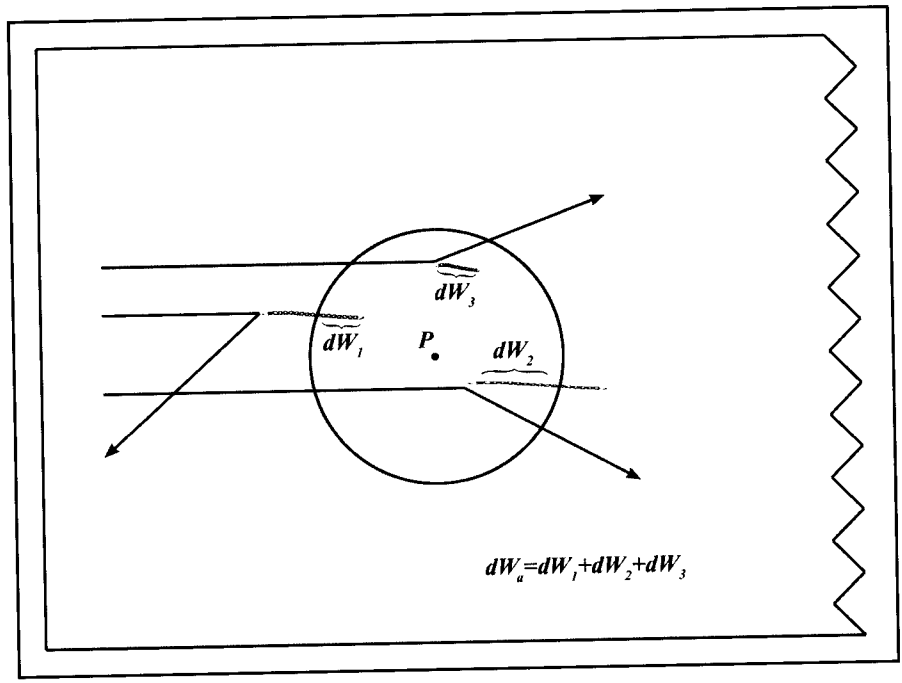
$$(1joule = 10^{7}\,erg)$$

## 2- مفهوم الجرعة الممتصة *The absorbed dose concept*:

إن الطاقة الحركية $(dW_d)$ المتروكة للالكترونات والبوزيترونات داخل الكرة من العنصر المعرض للإشعاع ستكون ممتصة (تهيج وتأين) جزء منها داخل الكرة والجزء الآخر خارجها.

ولتكن $(dW_a)$ الطاقة الممتصة *absorbed energy* داخل الكرة من العنصر ابتداء من الالكترونات الموضوعة في حالة حركة إما داخل الكرة أو خارجها تأمل (الشكل 2-9).

إننا نطلق تعبير "جرعة" ممتصة *absorped dose* على النسبة $(D = dW_a/dm)$ وكما هو الحال في حالة الكيرما فإن $(D)$ تقاس بوحدة الغري أو الراد.




**الشكل (2-9) الطاقة الممتصة**

كما أنه عندما تكون أبعاد المادة محدودة ، وإذا كانت النقطة ( $P$ ) بعيدة عن وجهي دخول وخروج الحزمة (بالنسبة للمسار الحر المتوسط للالكترونات الثانوية *mean free path*)، وإذا كان تخامد الحزمة الواردة مهملاً فإن شروط التوازن الالكتروني عندئذٍ محققة والكيرما تساوي الجرعة الممتصة وبالفعل يوجد توازن مابين الطاقة المنقولة في الكرة والممتصة خارجها والطاقة المنقولة خارج الكرة والممتصة داخلها.

وعملياً نفترض دائماً تحقيق هذه الشروط من التساوي بين الكيرما و الجرعة الممتصة. ويعبر حالياً عن كيرما الهواء بعدد التأينات في الهواء *ioization times* التي تنتجها الطاقة المنقولة وهذا هو عبارة عن التعرض للحزمة.

### 3- التعرض للأشعة *Exposure to Radiation* :

إن وحدة قياس التعرض في النظام الدولي هي الكولومب في الكيلو غرام $(C/kg)$ وتستخدم أيضاً وحدة أخرى هي الرونتيجن *Roentgen* $(R)$ وهو يوافق انتاج واحد وحدة كهرباء ساكنة $(C.G.S)$ بشحنات كل إشارة في واحد سنتيمتر مكعب هواء عند الشروط العادية من الضغط ودرجة الحرارة.

يوافق واحد رونتينجن إلى انتاج $(1.6\times10^{12})$ زوج ايونات في واحد غرام هواء، أو أيضاً إلى $(2.56\times10^{-4}C/kg)$ في النظام الدولي. كما أن انتاج زوج من الايونات في الهواء يتطلب وسطياً طاقة قدرها $(34eV = 5.44\times10^{-18}J)$ وأن حزمة أشعة بواحد رونتينجن تملك في الهواء كيرما تعادل:

$$K = 1.6\times10^{12}\times5.44\times10^{-18}\times10^{+3}\,Joules/kg$$ (هواء)

إذاً: (في الهواء)

$$1(R) = 87\times10^{-4}\,Gy = 0.87\,Rad$$

### 4- مكافئ الجرعة *Dose Equalizer* :

إن التأثيرات البيولوجية للاشعاع لا تعتمد فقط على كمية الطاقة، بل تعتمد أيضاً على نوع الاشعاع الذي يتحدد بنوعية الجسيم المشع، فجسيمات غاما $(\gamma)$ مثلاً تمتلك قدرة تدميرية أكثر من الجسيمات الأخرى ذات الطاقة الأقل فعند طاقة متساوية، لا تكون جميع الجسيمات مؤينة وكل نوع من الجسيمات يرتبط بمعامل النوعية *Quality factor* واختصاراً نشير له $(Q)$ الخاص به (انظر الجدول 1-9).

| *Quality Factory* $Q\ (SV.Gy^{-1})$ | *Particle* جسيم |
|---|---|
| 20 | $(\propto)$ - *Alpha* |
| 1 | $(\beta)$ - *Beta* |
| 1 | $(\gamma)$ - *Gama* |
| 1 | $(X)$ - *X-ray* |

**جدول (1-9)**

إن مكافئ الجرعة مقاساً بالسيفرت هو عبارة عن حاصل ضرب الجرعة المتصة مقاسة بالغري بمعامل النوعية مقاساً بالسيفرت لكل غري أي أن :

مكافئ الجرعة = الجرعة × معامل النوعية

↓ Gy ↓ sv

أي أن وحدة مكافئ الجرعة في النظام الدولي للقياس هي سيفرت *(SV)* أما عندما تؤخذ وحدة الجرعة المتصة بالراد، فإن وحدة مكافئ الجرعة عندئذٍ هي الريم *(Rem)*.

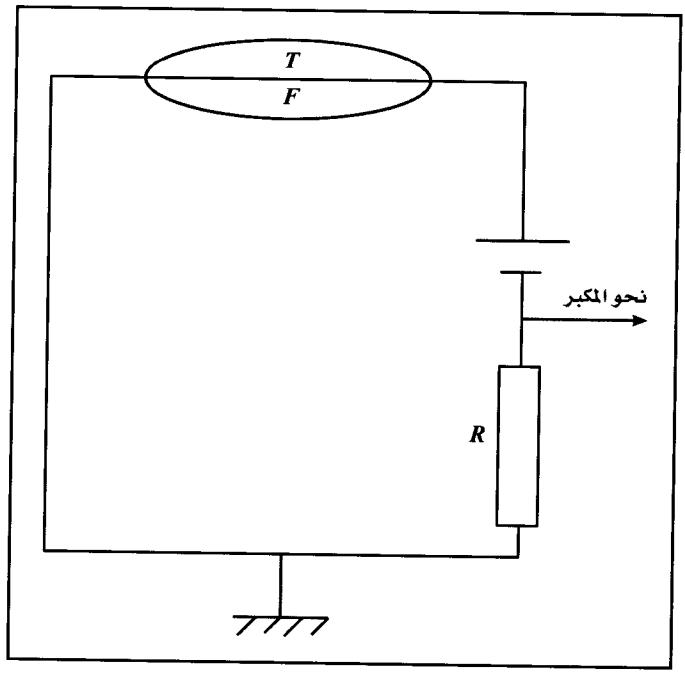
حيث :

$$1SV=100\ Rem$$

## 9-2 الكشف الإشعاعي *Radioactive Detection*:

الكواشف المستخدمة *detectors* كثيرة، وسنتعرض فقط إلى عداد غايغرمولر *Greiger-muller detector* والعداد الوميضي *The seintillation detector* .

1- عداد غايغروموليز (الشكل 3-9)

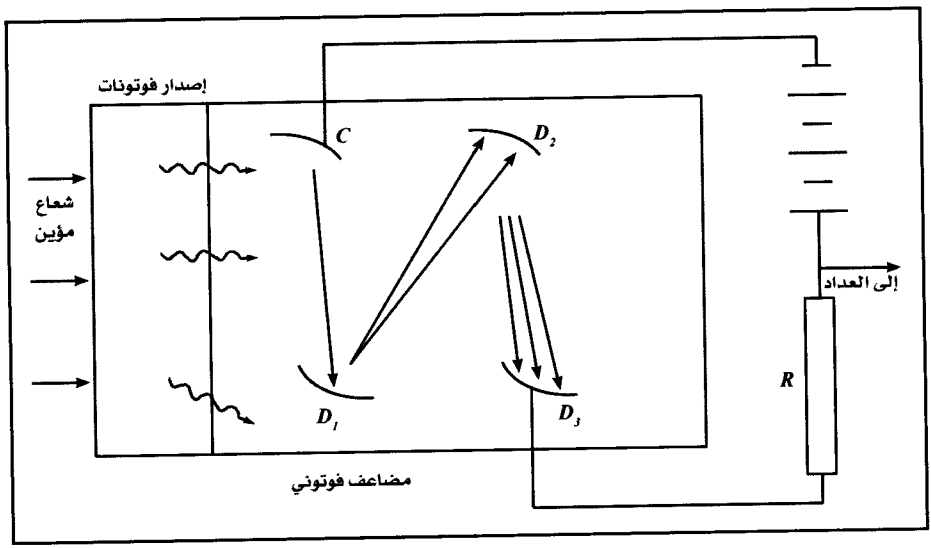



**الشكل (3-9) عداد غايغر**

هو عبارة عن مكثف *capacitor* لوحيه مكونين من انبوب على شكل حرف *(T)* وسلك محوري *(F)*، المعدنيين ومولد يؤمن فرقاً في الجهد مقداره $(V_{FT})$ من مرتبة *(1KV)*، وناقل مقاوم *(R)* موجود في الدارة. وأن الفولتية بين طرفيه تمر عبر مكبر صوت أو على عداد نبضات *pulses counter*.

فعندما يكون الغاز داخل الأنبوب غير مؤين إذاً فهو عازل وبالتالي لا يمر تيار في الدائرة. ولكن عندما يجتاز الغاز شعاع مؤين، تظهر إلكترونات وايونات مسرعة بفرق الجهد $(V_{FT})$ محدثة تأيناً على شكل شلال. ويتفرغ المكثف الكهربائي، والتيار الناتج يولد بين طرفي المقاومه جهداً نبضياً مرسلاً إلى عداد أو إلى مكبر صوت.

2- العداد الوميضي *The seintillation detector* (الشكل 4-9)




**الشكل (4-9) المضاعف الفوتوني**

تمتلك بعض المواد كالبوليستيرن خاصية اصدار الفوتونات عندما يجتازها اشعاع مؤين. حيث يقوم المضاعف الفوتوني الموصول بالعداد باستقبالها ليتم كشف هذه الجسيمات واحد بعد الآخر كما يلي:

يتسبب الشعاع المؤين بإصدار فوتونات في الوامض. وعندما يسقط الفوتون على المهبط *cathode* ( *C* ) للمضاعف الفوتوني يصدر إلكتروناً بسبب التأثير الكهرضوئي *photoelectric effect*، ومن ثم يسقط هذا الألكترون المسرع *accelerated electron* بالمجال الكهربائي على المسرى *anode* ( $D_1$ )، فيحرر حزمة إلكترونات تكون هي الأخرى مسرعة نحو المسرى ( $D_2$ ) وهكذا دواليك. إنَّ وصول فوتون الى المهبط ( *C* ) يحدث في المقاومة ( *R* ) نبضة تيار قصيرة ويقوم العداد بإحصاء هذه النبضات لمجموع الفوتونات التي تصطدم بالمهبط.

## 9-3 الأشعة والصحة *Radiation Biology*:

### 1- التأين والتوغل *Ionization Radiation*:

إن الجسيمات ألفا ($\propto$) وبيتا ($\beta$) هي أشعة مؤينة بشكل مباشر *direct ionization particles*، فأشعة ألفا التي تتوغل بسماكة صغيرة جداً من مرتبة عدة ميكرومترات *few micrometers* لا تكون خطيرة إذا لم يوجد امتصاص داخلي (استنشاق،عن طريق المعدة).

أما أشعة بيتا التي تتوغل بسماكة عدة ميليمترات *Few millimeters* فهي خطيرة على الجلد. بينما أشعة غاما ($\gamma$) او اكس ($X$) المؤينة بشكل غير مباشر *indirect ionization* من خلال التأثير المتبادل مع ذرات المادة التي تجتازها تولد إلكترونات مؤينة كما أن التأين يمكن أن يحدث بعد توغل أعمق في المادة.

ويبين (الجدول 2-9) عدد أزواج الأيونات الناتجة عند تأثير الأشعة بعد اجتيازها لمسافة ($1\mu m$) خلال نسيج حي.

| عدد أزواج الايونات الناتجة بعد اجتياز ( $1\mu m$ ) من نسيج حي | |
|---|---|
| انشطار نواة ثقيلة | 150000 |
| جسيم $\propto$ ( $5MeV$ ) | 4000 |
| نترون ( $400KeV$ ) | 1000 |
| اشعة $X$ ( $200KeV$ ) | 80 |
| $\gamma,\beta$ | 10 |

جدول (2-11)

## 2- التأثير على الخلايا الحية *Cells Radiation Effect*:

إنَّ تأين الخلايا الحية هو نقطة البداية للتأثير على النسج *effect on tissues*، كما أنَّ الأيونات الناتجة تضر بالحامض النووي *DNA* والأنزيمات *enzymes* حيث إن التأين يحدث مثلاً تمزقاً للروابط الهيدروجينية *Hydrogen bonds* وان فصل السكريات والفوسفات يتسبب باستحالة التضاعف والنسخ. أي أن التأثير الرئيسي للأشعة هو إذاً فقدان القدرة على التكاثر، وأن البنى الجزيئية المسؤولة عن الحياة تكون متلفة. وتستطع الخلية المصابة في بعض الحالات ترميم نفسها بعمليات بيوكيميائية *biochemical processes*. وأن الخلايا حساسة لطور الإنقسام كما أن الخلايا الأقل تبايناً هي الأكثر حساسية للإنقسام وهذا يوافق حالة الخلايا السرطانية.

## 3- التأثيرات المرضية على الرجال:

تتعلق التأثيرات المرضية على الرجل بالجرعات الممتصة ونميز هنابين الحالات التالية:

1- التأثيرات الجسدية المبكرة: تخص الإشعاعات الحادة ذات جرعة بتدفق كبير (*0.5 SV* خلال عدة دقائق) إن هذه التأثيرات حساسة في حالة تعرض الجلد للأشعة (حروق وخطر الإصابة) وكذلك تعرض الأمعاء (خطر الإنثقاب) وتعرض العيون (الساد) وتعرض الغدد التناسلية (عقم).

2- التأثيرات الجسدية المتأخرة *The late human body effect* : سرطان وابيضاض الدم *blood cancer*، يمكن أن تظهر بعد أكثر من عشرة سنوات للتعرض إلى الأشعة وخطرها مستقل عن الجرعة الممتصة وبالعكس فإن احتمال ظهور هذا الخطر يزداد مع مقدار الجرعة.

3- التأثيرات الوراثية: (تأثيرات على ذرية الأشخاص المتعرضين للأشعة).

## 9-4 الجرعات العظمى المسموح بها *The Maximum allowed dosage* :

الجرعة العظمى المسموح بها محددة تماماً ويجب عدم تجاوزها وهي كالتالي:

**1- أشخاص يتأثرون بشكل مباشر بأشعة العمل.**

أ- عند تعرض الجسم بكامله ، فإن مكافئ الجرعات إبتداء من السن القانوني للعمل (18 سنة) وحتى $(N)$ سنة يجب ألا يتجاوز

$$D = 50 \times (N - 18) mSV$$

ب- جرعات موضعية يجب ألا تتجاوز $(0.3\ SV/year)$ للعظم و $(0.15\ SV/year)$ سنة للأعضاء الأخرى.

ج- الحد الأعظمي لتعرض المناطق السطحية للأشعة محددة $(0.6\ SV/year)$ للأيدي والجهة الامامية للأذرعة وبمقدار $(0.3\ SV/year)$ لما تبقى من الجسم.

**2- أشخاص لا يتأثرون مباشرة بأشعة العمل .**

- إنَّ التعرض الاجمالي محدد بمقدار $\left(15\ \frac{mSV}{year}\right)$، بينما الجرعات الأخرى المسموح بها محددة بعشر المقادير السنوية المتعلقة بالأشخاص الذين يتأثرون مباشرة بأشعة العمل.

**3- تعرض السكان للأشعة**

- الجرعات العظمى المسموح بها هي نفسها من أجل الأشخاص الذين لا يتأثرون بأشعة العمل ما عدا ما يخص الأشعة الكلية التي يجب ألا تتجاوز $\left(5\ \frac{mSV}{year}\right)$.

## 9-5 الوقاية والمراقبة *Protection and Inspection Processes*:

يستخدم الأخصائيون الطرق التقنية المتبعة في الحد من تعرض الاشخاص المهنيين للأشعة ، فهم يستخدمون بشكل أساسي شاشات ومرشحات وظهريات مغلقة أو تدفق صفائحي أفقي .

وتكون الأجهزة المستخدمة بعيدة وكذلك تحديد المناطق الساخنة وشروط العمل الدقيقة، مع مراقبة الأمكنة والأشخاص بصفة مستمرة.

أ- تعرض الأمكنة للأشعة:

يتم مراقبة تدفق التعرض للأشعة في مختلف مناطق العمل حيث يتم التفتيش دورياً عن التلوث الاشعاعي وأنه في حالة التلوث المفاجئ يجب إحاطة المنطقة الملوثة وتجنب نقل التلوث الخارجي لتلوث داخلي وإذا كان التلوث كبيراً عندئذٍ يجب اعلام الدائرة المركزية للوقاية من الاشعاع المؤين.

ب- تعرض الأشخاص العاملين للأشعة:

يجب حمل مقياس جرعة فردي يلائم نوع الاشعاع، كما يجب تحميض (تظهير) ومراقبة مقاييس الجرعات الفوتوغرافية كل شهر وإجراء فحص طبي كامل كل ستة أشهر وتسجيل النتائج في ملف طبي فردي، لمراقبة وفحص الحالات وقياس مدى التراكم الإشعاعي على مدى مدة العمل.