

الفصل الثامن

الجرعة الإشعاعية الناتجة من التعرض للإشعاعات

من الممكن تقدير ومقارنة جرعة التعرض إلى المصادر المشعة الطبيعية والمصنوعة من قبل البشر. وإن بعض هذه المصادر منتشرة عالمياً كما هو الحال لمعظم النويدات المشعة الطبيعية وهناك مصادر أخرى تكون ذات مواقع ثابتة مثل ما يطرح من المنشآت النووية ، كما أن بعض المصادر مثل أجهزة الأشعة السينية تعطي تعرضاً خارجياً فقط ولا تسبب أي تلوث للبيئة وهناك مصادر أخرى تؤدي إلى توزيع النويدات المشعة بصورة واسعة في أي أو كل قواطع البيئة مثل الهواء والتربة والماء . والتعرض ربما يكون تعرضاً خارجياً أو تعرضاً داخلياً أو اندماج كليهما.

❖ مصادر التعرض للأشعة والتلوث

1- تعرض خارجي (External Exposure)

أشعة ناتجة عن أسطح ملوثة

2- تعرض داخلي (Internal Exposure) وينتج عن:

إستنشاق (عن طريق القناة التنفسية)

تلوث الجلد (الثقوب أو الجروح)

بلع مباشر (عن طريق القناة الهضمية)

بلع عن مصادر ثانوية مثل الماء الحليب والغذاء

❖ أنواع الجرعة الإشعاعية

1- الجرعة الممتصة (Absorbed dose):

تعرف الجرعة الممتصة بأنها مقدار الطاقة الممتصة بالجول لوحدة الكتلة من المادة بالكيلو غرام ويمكن كتابتها رياضيا كما يلي :

$$D = E/m \text{ (J/Kg)}$$

تقاس الجرعة الممتصة بوحدة تسمى الغراي (Gray) وتعرف على أنها امتصاص طاقة من الإشعاعات مقدارها 1 جول في كل 1 كيلو غرام من المادة ويرمز لها عادة بالرمز Gy ، ومازالت الوحدة التقليدية للجرعة الممتصة وهي "الراد" "rad" مستعملة في بعض المراجع والأجهزة . ان الراد الواحد هو امتصاص طاقة مقدارها (100 erg) في كل غرام واحد من المادة , والعلاقة بين الrad و الGy هي

$$(1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad})$$

2- الجرعة المكافئة (H) The Equivalent Dose

تعرف الجرعة المكافئة (H_{Ti}) بأنها حاصل ضرب الجرعة الممتصة D_{Ti} في معامل النوعية او معامل الإشعاع المرجح ، اي ان:

$$H_{Ti} = D_{Ti} \times W_R$$

تقاس الجرعة المكافئة في النظام المعياري العالمي بوحدة السيفرت Seivert ورمزها Sv وذلك عندما تكون الجرعة الممتصة معبرا عنها بوحدة الغراي . وعند التعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة الراد القديمة تستعمل وحدة اخرى قديمة للجرعة المكافئة هي الريم rem ومن العلاقة بين الغراي والراد يتبين ان السيفرت والريم يرتبطان معا بنفس العلاقة وهي:

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

الجدول (1) عامل الإشعاع المرجح (W_R Radiation Weighting Factor) .

نوع الإشعاعات	طاقاتها	عامل الإشعاع المرجح
فوتونات .	جميع الطاقات	1
إلكترونات وميونات .	جميع الطاقات	1
نيوترونات .	أقل من 10 keV	5
	10 → 100 KeV	10
	100 keV → 2 MeV	20
	2 → 20 MeV	10
	أكبر من 20 MeV	5
بروتونات .	أكبر من 20 MeV	5
جسيمات ألفا ونوى خفيفة .		20

مثال / نسيج كتلته 4kg يمتص 2mJ عن طريق التشعيع بالنيوترونات البطيئة. احسب الجرعة المكافئة لهذا النسيج؟

الحل/

$$D=E/m = 2 \times 10^{-3} / 4 = 0.5 \times 10^{-3} \text{ J/kg} = 5 \times 10^{-4} \text{ Gy.}$$

$$H = D \times W_R = 5 \times 10^{-4} \times 5 = 25 \times 10^{-4} \text{ Sv.}$$

مثال/ في احدى السنوات تعرضت رنتا أحد العاملين في مختبر نووي للجرعات التالية :

0.02Gy من النيوترونات الحرارية و 0.05Gy من النيوترونات السريعة و 0.8Gy من

اشعة كاما. احسب الجرعة المكافئة في رنتي هذا العامل؟

الحل/

$$H = \sum W_R H_{TR}$$

$$H = 5 \times 0.02 + 10 \times 0.05 + 1 \times 0.8$$

$$= 0.1 + 0.5 + 0.8$$

$$= 1.4 \quad (\text{Sv})$$

3- الجرعة الفعالة: (E_{Ti}) The Effective Dose

الجرعة الفعالة E لكامل الجسم هي مجموع الجرعات المكافئة الموزونة بعامل الإشعاع المرجح ، مضروبة بالعامل المرجح للنسيج أو العضو ، أي أنها مجموع الجرعات المكافئة الموزونة بالعوامل المرجحة لكل عضو أو نسيج ، وتحدد وفقاً للعلاقة :

$$E = \sum W_{Ti} \cdot H_{Ti}$$

ان الجرعة الفعالة E في الجسم تعد بمثابة مقياس لاحتمال إصابة الجسم بالامراض العشوائية كالسرطان القاتل نتيجة التعرض للإشعاع ، وتقاس الجرعة الفعالة بنفس وحدات قياس الجرعة المكافئة ، اي بالسيفرت Sv في النظام المعياري الدولي والريم في النظام القديم .

الجدول (2) العوامل المرجحة للأنسجة والأعضاء البشرية.

عامل النسيج المرجح W_{Ti}	العضو
0.02	الغدد التناسلية .
0.12	النخاع العظمي الأحمر ، القولون ، الرئتان ، المعدة .
0.05	المثانة ، الصدر ، الكبد ، الإثنا عشر ، الغدد الدرقية .
0.01	الجلد ، سطح العظام .
0.05	باقي الأعضاء .
1	كامل الجسم .

مثال / تعرضت أنسجة وأعضاء أحد فنيي المختبرات الطبية التي يتم فيها تداول المواد المشعة ، الى الجرعات التالية:

1.5mSv للرئتين ، 5mSv للمعدة ، 1mSv للثديين عشر ، 2.5mSv للقولون ، 0.5mSv للغدد التناسلية. احسب الجرعة الفعالة التي حصل عليها هذا الفني ؟

الحل/

$$\begin{aligned}
 E &= \sum_T W_T H_T \\
 &= 0.12 \times 1.5 + 0.12 \times 5 + 0.05 \times 1 + 0.12 \times 2.5 + 0.20 \times 0.5 \\
 &= 0.18 + 0.60 + 0.05 + 0.30 + 0.10 \\
 &= 1.23 \text{ m Sv}
 \end{aligned}$$

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 1.23 ميلي سيفرت.

❖ معدل الجرعة $\dot{D}$: The Dose rate

تعبر وحدات الغراي والسيفرت عن مقدار الجرعة الممتصة والجرعة المكافئة او الفعالة التي حصل عليها عضو او شخص ما خلال مدة زمنية معينة (t) . ولتقدير قيمة الجرعة التي يتعرض اليها الشخص خلال زمن معين فانه يجب معرفة ما يسمى بمعدل الجرعة ($\dot{D}$) ، والذي يعرف على انه قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو او الانسان في وحدة الزمن عند وجوده في هذا المكان، اي ان :

$$D = \dot{D} \times t$$

مثال/ اذا كانت الجرعة الفعالة المسموح بها في الاسبوع هي 0.4mSv . احسب الزمن الذي يسمح خلاله لشخص ما بالوجود داخل مختبر في الاسبوع اذا كان معدل الجرعة الفعالة داخل هذا المختبر هو 100μSv/hr ؟

الحل:

$$D = \dot{D} \times t$$

$$t = 0.4 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-6} = 4 \text{ hours.}$$

❖ عامل المخاطرة

يعرف على أنه احتمالية إصابة الفرد بالسرطان عند تعرضه لجرعة مقدارها (1) سيفرت (وحدة قياس الجرعة المؤثرة).

وهذا الاحتمال يتناسب طردياً مع زيادة الجرعة فمثلاً إذا كان احتمال الإصابة بالسرطان عند جرعة مقدارها (4 سيفرت) هو (40%) لذا فعند جرعة مقدارها (5 سيفرت) تصبح احتمالية الإصابة هي (50%)

الوقاية من الإشعاع

أصبح من المعروف أن استخدام مصادر الإشعاع قد دخل معظم مجالات الحياة، وانتشرت التطبيقات العملية للإشعاع في الصناعة والزراعة والطب والبحث العلمي، حتى أنها دخلت في مجالات التجارة والتفتيش الحدودي والمطارات. وقد كانت تستعمل أجهزة إصدار الأشعة السينية قديماً دون أي نوع من أنواع الوقاية، فدفعت البشرية ثمناً غالياً، لأن العاملين بالإشعاع حينها لم تكن لديهم المعرفة الكافية عن أخطار الإشعاع وعن أسس الوقاية منه، إلا بعد أن ظهرت آثاره السيئة على الخلية الحية.

إن الإشعاع المؤين الناتج من المصادر المشعة يمكن أن يكون ذو تأثيرات جسدية أو وراثية , وتعتمد هذه التأثيرات على نوع وشدة وطاقة ذلك الإشعاع , وتكون الوقاية من التعرض للإشعاع على نوعين:

اولا :- الوقاية من التعرض الخارجي :

ينجم التعرض الخارجي عن التعرض لمصادر مشعة أو أجهزة إشعاعية موجودة خارج جسم الإنسان , وتعتمد الوقاية من التعرض الخارجي على اربعة عوامل مهمة :

1. الزمن : إن تقليل زمن التعرض للإشعاعات المؤينة يؤدي الى تقليل الجرعة الإشعاعية التي

يتعرض لها الأفراد , حيث أن الجرعة المتراكمة في الإنسان تتناسب طردياً مع الزمن أي

إن $(d_0 = \frac{d}{t})$ إذ أن d هي الجرعة المتراكمة و d_0 هي معدل الجرعة و t هو زمن

التعرض , لذا فإن أبسط أساليب الوقاية من التعرض الخارجي , هو قضاء اقل مدة زمنية

ممكنة في الأماكن التي توجد فيها الإشعاعات المؤينة .

2. المسافة : يقل التعرض الإشعاعي بزيادة المسافة بين المصدر المشع والنقطة المعنية (

بحسب قانون التربيع العكسي $I_0 \propto \frac{1}{R^2}$ إذ أن I_0 يمثل شدة الإشعاع , و R^2 المسافة بين المصدر المشع والنقطة المعنية) .

3. الدروع : يقل التعرض الإشعاعي بوضع الحواجز أو الدروع بين المصدر المشع والنقطة

المعنية , والدروع تُعد من أهم وسائل الوقاية من التعرض الخارجي , ويتوقف نوع مادة الدرع وسمكه على نوع الإشعاعات وطاقتها وعلى النشاط الإشعاعي للمصدر , كما ويتوقف على معدل الجرعة المقررة خارج الدرع .

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

إذ أن :-

I يمثل شدة الأشعة النافذة . I_0 يمثل شدة الأشعة الساقطة .

μ يمثل معامل الامتصاص الخطي . X يمثل سمك الدرع (المادة الماصة) .

4- الاحتواء:

تقييد المواد المشعة وحصرها في أقل حجم وإقصاءها عن البيئة هي أحد الوسائل الناجعة للوقاية من الإشعاع. مثلاً النظائر المشعة المستخدمة في المجال الطبي توزع في وسائل مخصصة بينما تعمل المفاعلات النووية داخل أنظمة مغلقة وحواجز متعددة وغرف عند ضغوط منخفضة حتى يبقى التسرب داخل الغرفة ولا يخرج منها.

ثانياً :- الوقاية من التعرض الداخلي :

يكون التعرض الداخلي للجسم من خلال دخول المواد المشعة إليه عن طريق :

- الجهاز الهضمي : تناول الأطعمة والمشروبات الملوثة إشعاعياً .
- الجهاز التنفسي : استنشاق الغبار الملوث إشعاعياً والغازات والأبخرة المشعة .
- الامتصاص : المسامات الجلدية والجروح .

ولغرض الوقاية من التعرض الداخلي يتوجب استعمال الوسائل الوقائية اللازمة لوقاية الجهاز الهضمي والجهاز التنفسي والجروح إذ أن التعرض الداخلي هو أكثر ضرراً من التعرض الخارجي لكون النظائر المشعة تترسب في أعضاء معينة من جسم الإنسان تعرف بالأعضاء الحرجة .

❖ أوصت اللجنة العالمية للوقاية الإشعاعية بحدود معينة للتعرض هي :-

- 1- حد التعرض السنوي (الجرعة الفعالة) للمهنيين 20 ملي سيفرت بشرط ان لا تتجاوز الجرعة التراكمية خلال 5 سنوات 100 ملي سيفرت .
- 2- يُحظر تعرض من تقل اعمارهم عن 16 سنة.

❖ توصيات اللجنة بشأن فترات التعرض (ساعات العمل) للعاملين في مجال

الإشعاع:-

- 1- يجب ان لا تزيد ساعات العمل في المختبرات او الاماكن التي تحتوي على الإشعاعات عن سبع ساعات في اليوم .
 - 2- يجب ان لا تزيد ايام العمل عن خمسة ايام في الاسبوع .
 - 3- يجب ألا تقل الاجازة عن شهر في السنة .
- يجب قضاء ايام العطل بعيدا عن تلك المختبرات (اماكن العمل).

❖ حدود الجرعة الفعالة لعموم الجمهور (عامة البشر)

تعرض عامة البشر هو ذلك التعرض الذي يتكبده اي فرد من عامة البشر من مصادر الإشعاع باستثناء التعرض المهني او الطبي.

لقد أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية في نشرتها رقم 60 عام 1991 بالحدود المسموح بها لتعرض عامة البشر , حيث لخفض التأثيرات العشوائية بين عامة البشر , يجب ألا يتجاوز حد الجرعة الفعالة القيم الاتية :-

- 1- الحد السنوي للجرعة الفعالة لعامة البشر هو (1 mSv/y) , ويجوز ان يزيد الحد لسنة ما عن هذا المقدار بشرط الا تتجاوز الجرعة الفعالة لأي خمس سنوات متعاقبة عن (5 mSv).
- 2- الحد السنوي للجرعة المكافئة لعدسة العين لعامة البشر هو (15 mSv/y) , والحد السنوي للجلد هو (50 mSv/y).

التدريع الإشعاعي

ان الهدف الأساسي للوقاية الإشعاعية هو الحماية من التعرض الإشعاعي أو تقليل مقدار هذا التعرض بالقدر الذي يقلل المخاطر المترتبة عليه ، والتعرض للإشعاع المؤين يتم أما من خلال التعرض للإشعاع من مصدر إشعاعي خارج الجسم وبطاقة قادرة على اختراق الجسم ويدعى بالإشعاع الخارجي أو من خلال التعرض للإشعاع من داخل الجسم نتيجة لدخول المواد المشعة الى داخل الجسم عن طريق الجهاز الهضمي أو التنفسي أو من خلال الجلد.

ولتخفيف قيمة التعرض الإشعاعي الناتج عن الممارسات الإشعاعية فانه من الممكن توظيف ثلاث مبادئ رئيسية لتخفيف قيمة التعرض الإشعاعي الناتج عن مصدر إشعاعي خارجي وهذه المبادئ:

- 1- زيادة مقدار المسافة عن مصدر الإشعاع (المسافة).
- 2- تقليل المدة الزمنية التي يتم خلالها التعامل مع مصادر الإشعاع (الزمن).
- 3- استخدام الدروع الإشعاعية.

الدروع الإشعاعية

هناك العديد من المواد التي يمكن استخدامها لتوهين الأشعة وكدروع واقية من الإشعاع نتيجة قدرة هذه المواد على توهين الإشعاع وامتصاصه. وتستخدم الدروع الإشعاعية لغايات احتواء المصادر المشعة أو عمل الحواجز الواقية من الإشعاع. لذا فان هذه الدروع الإشعاعية تعتبر من المبادئ الرئيسية والهامة في موضوع الوقاية الإشعاعية أو بعبارة أخرى القدرة على السيطرة على الإشعاع بمختلف أنواعه ومصادره من خلال توفير الدرع المناسب والملامم فنياً وهندسياً للمصدر المشع بالاعتماد على طبيعة تفاعل الإشعاع مع المواد المختلفة . فعندما يمر الإشعاع خلال المادة فأنه يودع طاقته في المادة من خلال إنتاج الايونات المشحونة كما شرحنا سابقا وبالتالي تعمل المادة على امتصاص طاقة الإشعاع أو توهينها وقدرة المادة على الامتصاص تعتمد على عدة عوامل منها نوع الإشعاع وطاقته ونوع المادة. وبالاعتماد على هذا

الأمر تم توظيف أنواع مختلفة من المواد بجعلها دروع تحمي من الإشعاع أو تعمل على تخفيف مستواه وسميت هذه المواد بالدروع الإشعاعية.

1- الدروع الإشعاعية لجسيمات ألفا:

نظراً لصغر مدى جسيمات ألفا في المادة بسبب كتلتها وشحنتها الكبيرتين بالنسبة إلى الأنواع الأخرى من الإشعاع المتمثل ببضعة عشرات من الميكروميتر في المواد وببضعة سنتيمترات في الهواء تجعل من السهولة جداً تدريعها واحتوائها و اعتبارها كخطر خارجي ضعيف نسبياً على الجسم الحي، لصغر مدى اختراقها فيه بحيث لا يتجاوز مداها الطبقة الميتة في الجلد ($7\text{mg} / \text{cm}^2$) لأكثر جسيمات ألفا طاقةً ولكنها تعتبر خطر حقيقي وفعال جداً في حالة دخولها جسم الكائن الحي نظراً لكثافة الطاقة المترسبة منها عند امتصاصها.

2- الدروع الإشعاعية لجسيمات بيتا:

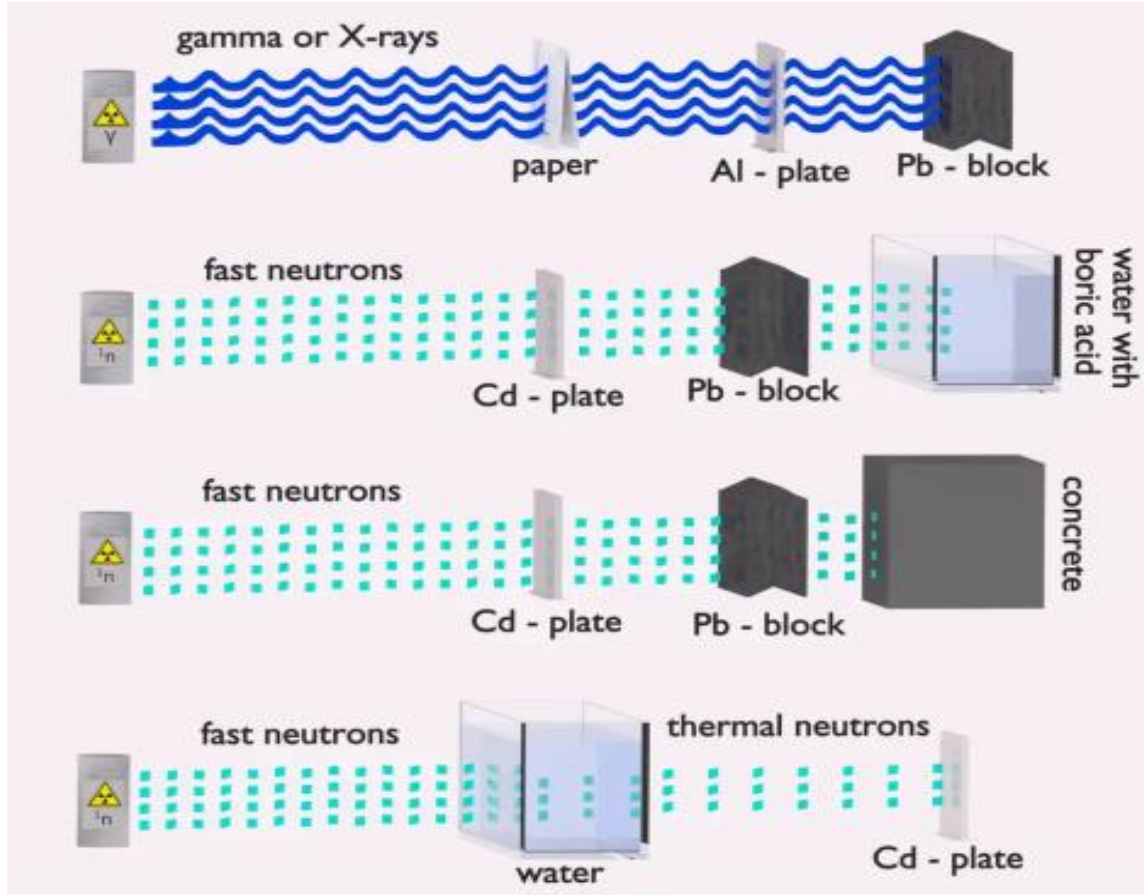
تمتاز جسيمات بيتا بمدى محدود في المادة ولكنه أكثر بكثير من مدى جسيمات ألفا وقد يكون أكثر تعرجاً ويمكن أن يبلغ عدة أمتار في الهواء تبعاً لطاقة الجسيم وقد يصل عشرة أمتار لطاقة 4 مليون إلكترون فولت وبما أنها جسيمات مشحونة فإنها تفقد طاقتها في المادة كما ذكرنا سابقاً بطريقتين وهي التأين المباشر لذرات المادة وإنتاج الأشعة الانكباحية نتيجة تفاعل الإلكترون وتسارعه في مجال النواة نتيجة قوة الجذب الكهربائي للنواة الموجبة. الدرع الإشعاعي الملائم لجسيمات بيتا يمكن إيجاده بأخذ الاعتبارين السابقين وهما التأين المباشر وإنتاج الأشعة الانكباحية فالاعتبار الأول يتم فيه معالجة مقدار سمك الدرع اللازم من المادة أو المواد التي ستجتازها الجسيمات والاعتبار الثاني باستخدام المواد ذات العدد الذري القليل، مثل الألمنيوم والبلاستيك عوضاً عن الرصاص، لتجنب زيادة مقدار الأشعة الانكباحية وخصوصاً لمصادر جسيمات بيتا ذات النشاطية الإشعاعية العالية.

3- التدريب الإشعاعي لأشعة كاما والأشعة السينية:

يعد التدريب الإشعاعي حاجة ضرورية لحماية الإنسان والبيئة، لأن الآثار الضارة للإشعاعات المؤينة مثل أشعة كاما والأشعة السينية والنيوترونات يمكن أن تسبب مخاطر صحية كبيرة مع زيادة استخدام تلك الأشعة، وذلك لقدرتها العالية على اختراق المواد، لذلك كان من الضروري تقييم تلك المخاطر وتحديد الأساليب المناسبة للحماية منها ، وذلك من خلال اختيار المواد المناسبة لتصنيع الدروع الواقية من الإشعاع حيث تتوفر العديد من المواد التي يمكن استخدامها كدروع لأشعة كاما ويعد الرصاص والخرسانة الكونكريتية من أكثر هذه المواد شيوعاً،

4- الدروع الإشعاعية للنيوترونات:

بالعادة يتم عمل الدروع النيوترونية من مواد ذات قابلية عالية على التفاعل مع النيوترونات وبالتالي امتصاص طاقتها واختزالها من الحزمة النيوترونية مما يقلل مقدار تدفقها وطاقاتها وبالتالي الجرعة الناتجة عنها. فالدروع المستخدمة للوقاية من النيوترونات السريعة تكون من مواد ذات قابلية لحدوث التصادمات المرنة وغير المرنة بالإضافة الى احتواها على مواد ذات قدرة على اقتناص النيوترونات المتباطئة فالمواد المحتوية على الهيدروجين بنسبة عالية من المواد المفضلة لعمل الدروع مثل مادة البرافين والماء وبالأخص النيوترونات عالية الطاقة وبما أن التصادمات غير المرنة تولد أشعة جاما نتيجة رفع النواة الى حالة الإثارة فإن إضافة مواد أخرى مثل البورون والليثيوم يقلل بشكل كبير من إنتاج هذه الأشعة وبشكل عام فإنه يمكن عمل دروع نيوترونية مكونة من عدة مركبات على شكل طبقات فالتدريب للنيوترونات السريعة يمكن استخدام طبقة أولى من مواد متوسطة أو مرتفعة العدد الذري وذلك لفقدان الطاقة بواسطة التصادم غير المرن والطبقة الثانية من مواد منخفضة العدد الذري حيث يكون فقدان الطاقة بواسطة التصادمات المرنة والطبقة الثالثة تعمل من مواد ذات مقطع عرضي عالي لاقتناص النيوترونات التي تم تهدئتها والطبقة الأخيرة تعمل من مواد ذات عدد ذري كبير لامتصاص أشعة جاما المنتجة، ويمكن بدلا عن عمل الدروع بشكل طبقات عملها كخليط متجانس من هذه المواد لتخفي التكاليف .



شكل يوضح المواد المستعملة للتدريع الإشعاعي ضد كل من أشعة كاما والنيوترونات