



جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

المحاضرة الأولى

فيزياء الإشعاع

تتألف كل العناصر من وحدات أولية تسمى الذرات والتي لا يمكن تجزئتها إلى جزيئات أصغر إلا بتقنيات خاصة عالية الطاقة.

لقد تم التعرف على أكثر من مئة جزيء تحت ذري. تعتبر الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات أكثرها أهمية لتفسير ظاهرة تولد وانبعثات وامتصاص الأشعة لأن هذه العمليات تتم على المستوى الذري.

البنية الذرية:

لقد تم وضع العديد من النماذج لوصف بنية الذرة. لكن لفهم الآليات المرافقة للأشعة السينية فإننا نعتد نموذج الكوانتوم المفترض من قبل نيلز بور عام 1913. شبه بور الذرة بالنظام الشمسي حيث تكون النواة مركز الذرة وتدور حولها الإلكترونات بسرعات عالية وفي مدارات محددة. تتوضع المدارات حول النواة بمسافات متساوية فيما بينها. ويميز كل مدار بحرف ورقم فالمدار 1 الأقرب للنواة هو مدار K يليه المدار 2 وهو مدار L، وهكذا حتى المدار 7 الأبعد عن النواة والمميز بالحرف Q. تسمى أرقام المدارات بأعداد الكوانتوم ويرمز لها بالحرف n. ليس هناك ذرة معروفة لها أكثر من 7 مدارات. يحتل المدار K إلكترونان فقط. إن العدد الأعظمي من الإلكترونات في مدار يحدد بالعلاقة: $2(n^2)$.

يحمل الإلكترون شحنة سالبة ويحمل البروتون شحنة موجبة بينما لا يحمل النيوترون أي شحنة. إن كتلة الإلكترون في وضع الراحة هي حوالي 9.1×10^{-28} غ وكتلة البروتون هي حوالي 1.67×10^{-24} غ التي هي 1836 أكبر من كتلة الإلكترون، بينما كتلة النيوترون هي 1.68×10^{-24} غ ما يجعله أثقل 1852 مرة من الإلكترون وأثقل قليلا من البروتون. إذاً إن معظم كتلة الذرة متركزة في النواة، أما حجماً فلا تساهم النواة إلا بجزء صغير من

الحجم الكلي للذرة (حوالي 1/100000) من الحجم الكلي للذرة وتشكل سحابة الالكترونات الدوارة معظم حجم الذرة.

يحدد عدد البروتونات الموجودة في النواة شحنتها الموجبة ويحدد عدد البروتونات نوع العنصر ويكون هو رقمه الذري (Z). إن العدد الكلي للبروتونات والنيوترونات في نواة ذرة هو كتلتها الذرية (A). تكون الذرة في حالتها الأساسية محايدة كهربياً. إن التجاذب الكهربائي السكوني بين النوى المشحونة ايجابيا والكتروناتها المشحونة سلبياً يساوي القوى النابذة الناتجة عن دوران الالكترونات بسرعة في مداراتها ويحافظ هذا على بقاء الالكترونات في مداراتها. إن كمية الطاقة اللازمة لإزاحة إلكترون من مداره تسمى الطاقة الرابطة للإلكترون (أو الطاقة المشردة) وهي تختلف من مدار لآخر. إن الطاقة الرابطة للالكترونات في المدار K هي الأكبر لأنها الأقرب للنواة وتتناقص الطاقة الرابطة كلما ابتعدنا عن النواة. لكي ينتقل إلكترون من مداره الخاص إلى مدار أبعد عن النواة فيجب أن تطبق طاقة مساوية للاختلاف بين القوى الرابطة بين كل من المدارين، وبالعكس فإن انتقال إلكترون من مداره إلى مدار أقرب من النواة فإنه يخسر من طاقته وتظهر هذه الطاقة بشكل إشعاع كهرومغناطيسي. إن الالكترونات مدار K أو أي الالكترونات لذرات كبيرة (Z عالي) لها قوى رابطة أكبر من تلك الموجودة بمدارات مماثلة لذرات أصغر (Z منخفض) لأن الذرات الكبيرة تحتوي بروتونات أكثر وهذا ما يربط الالكترونات صميمياً بالنوى أكثر من الذرات الصغيرة.

التشرد:

عندما يكون عدد الالكترونات المدارية في ذرة ما مساوياً لعدد البروتونات في نواها تكون الذرة محايدة كهربياً. إذا فقدت ذرة محايدة كهربياً إلكترونات فإنها تصبح شاردة موجبة والإلكترون الحر هو شاردة سلبية. هذه العملية من تشكل زوج من الشوارد يسمى بالتشرد. يمكن أن تخسر ذرة ما من الالكترونات بالتسخين أو بالتداخلات مع إشعاعات X عالية الطاقة أو مع جزيئات مثل البروتونات. مثل هذا التشرد يتطلب طاقة عالية للتغلب على القوة الكهربائية الساكنة الرابطة للالكترونات بالنوى. إن الالكترونات في المدارات الداخلية (K,L,M) مرتبطة

بقوة بالنوى بحيث أنه يمكن فقط لإشعاعات X، إشعاعات غاما، أو لجزيئات عالية الطاقة أن تزيلها من مدارها. بالعكس فإن للإلكترونات الموجودة في المدارات الخارجية قوى ارتباط ضعيفة بحيث يمكن إزاحتها بسهولة بفوتونات ضعيفة الطاقة مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الضوء المرئي.

طبيعة الإشعاع:

إن الإشعاع هو انتقال الطاقة عبر الفراغ أو المادة. يمكن أن يحدث الإشعاع بشكلين: جزيئي أو كهرومغناطيسي.

أ. الإشعاع الجزيئي:

يتألف الإشعاع الجزيئي من نوى ذرية أو جزيئات تحت ذرية تتحرك بسرعة عالية مثل جزيئات ألفا، جزيئات بيتا و الأشعة المهبطية.

ب. الإشعاع الكهرومغناطيسي:

إن الإشعاع الكهرومغناطيسي هو تحرك الطاقة عبر الفراغ كاتحاد لحقول كهربائية ومغناطيسية تنتج عندما تتبدل سرعة جزيء مشحون كهربياً. تعتبر أشعة غاما، أشعة X، الأشعة فوق البنفسجية، الأمواج الصوتية، الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء والأمواج الدقيقة أمثلة عن الإشعاع الكهرومغناطيسي. إن إشعاعات غاما هي فوتونات تنشأ في نوى ذرات فعالة شعاعياً بينما تنشأ إشعاعات X خارج النواة من التداخل بين الإلكترونات مع النوى في أجهزة أشعة X. تكون الإشعاعات في هذا الطيف إما مشردة أو لامشردة بالاستناد إلى طاقتها. إذا كانت كمية الطاقة المرافقة للإشعاع كافية لإزاحة الإلكترونات المدارية من ذراتها في المادة المتشععة فإن هذه الأشعة مشردة.

هناك نظريتان لتفسير خواص الإشعاع الكهرومغناطيسي: نظرية الموجة ونظرية الكوانتوم. تعتبر نظرية الموجة بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي ينتقل بشكل أمواج شبيهة بالأمواج الناتجة عن اضطراب الماء. تتألف هذه الأمواج من حقول كهربية ومغناطيسية متعامدة على بعضها تنتقل بسرعة الضوء (3×10^8 م/ثا).

تعتبر نظرية الكوانتوم الإشعاع الكهرومغناطيسي كحزم صغيرة من الطاقة تسمى فوتونات. كل فوتون ينتقل بسرعة الضوء ويحتوي كمية محددة من الطاقة. إن واحدة طاقة الفوتون هي الكتروفولت (eV). حيث أن الكتروفولت هو الطاقة الحركية للإلكترون بشحنة 1 يتحرك في الفراغ بفرق كمون 1 فولت. إن الفوتونات عالية الطاقة مثل إشعاعات X وإشعاعات غاما تتصف بقصر موجتها بينما الفوتونات منخفضة الطاقة (من موجات الأشعة فوق البنفسجية وحتى الأمواج الصوتية) تتميز بطول موجتها. إن العلاقة بين طول الموجة وطاقة الفوتون يعبر عنها بالعلاقة التالية: طاقة الفوتون = $1.24 / \text{طول الموجة}$.

جهاز أشعة X:

يتألف جهاز الأشعة بشكل رئيسي من رأس أنبوب أشعة X ومصدر التزود بالطاقة الكهربائية إضافة للوحة التحكم والأذرع. يتوضع أنبوب الأشعة ضمن رأس الأنبوب مع بعض مكونات الدارة الكهربائية. غالباً ما يتوضع الأنبوب بشكل متراجع ضمن رأس الأنبوب لتحسين جودة الخيال الشعاعي. يدعم رأس الأنبوب بذراع يثبت عادة على جدار. تسمح لوحة التحكم للممارس بتحديد زمن التعرض وغالباً الطاقة ومعدل التعرض لحزمة أشعة X.

أنبوب أشعة X:

تسمى كل أنابيب الأشعة السنية والطبية بأنابيب كوليدج لأنها تتبع في تصميمها التصميم الذي وضعه W.C. Coolidge عام 1913. يتألف أنبوب أشعة X من أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء يحتوي على مهبط ومصعد. يفيد المهبط كمصدر للإلكترونات التي تسيل باتجاه المصعد وتصطدم به ما ينتج عنه أشعة X. لأجل انجاز هذه

العملية يلزمنا مصدر للتزود بالطاقة ضروري لتسخين المهبط لإنتاج الإلكترونات وإحداث فرق كمون عالي بين المصعد والمهبط لتسريع حركة الإلكترونات.

المهبط:

يتألف المهبط في أنبوب أشعة X من وشيعة وصحن تركيز. تتألف الوشيعة من سلك من التنغستين بقطر 2 مم وطول 1 سم أو أقل يكون متصلاً بسلكين أثخن منه يدعمانه ويحملان التيار الكهربائي إليه. يمر هذان السلكان خلال الأنبوب الزجاجي ويتصلان بكلى مصادر الكهرباء عالية ومنخفضة الكمون. عندما يطبق تيار كهربائي بين السلكين وبكمون منخفض تسخن الوشيعة حتى التوهج وتبث الإلكترونات التي تتجمع بواسطة صحن التركيز (إن صحن التركيز هو عاكس مقعر مشحون سلبياً مصنوع من المولبدينيوم) ويحولها إلى حزمة ضيقة توجه إلى منطقة مستطيلة صغيرة في المصعد تسمى بقعة المحرق. تندفع الإلكترونات المشحونة سلبياً باتجاه المصعد ذو الشحنة الموجبة ضمن الأنبوب. يكون أنبوب أشعة X الزجاجي مفرغاً من الهواء ما يمنع اصطدام الإلكترونات المتحركة بجزيئات الغاز فلا تنقص بذلك سرعتها كما يمنع ذلك أيضاً تأكسد واحتراق الوشيعة.

المصعد:

يتألف المصعد من رقاقة من معدن التنغستين (المحرق) مدمجة في جذع نحاسي. مهمة المحرق هي تحويل الطاقة الحركية للإلكترونات الصادرة عن الوشيعة إلى فوتونات أشعة X. تتحول عادة 99% من الطاقة الحركية للإلكترونات إلى حرارة. يصنع المحرق من مادة التنغستين وهي مادة ذات خواص مثالية: عدد نري مرتفع (74) فهو الأفضل في إنتاج أشعة X

.درجة انصهار عالية بسبب الحرارة العالية المتولدة على المصعد

.توصيل حراري عالي ما يسهم بإضاعة الحرارة في جذع النحاس وينقص بالتالي خطر انصهار الرقاقة

.ضغط تبخر منخفض في الحرارة العاملة في أنبوب أشعة X ما يسهم بالحفاظ على الانفراج في الأنبوب

بدرجات الحرارة العالية المطبقة.

بالإضافة إلى الجذع النحاسي يساعد إضافة الزيت بين الغلاف الزجاجي والصندوق الخارجي لرأس الأنبوب على

حمل الحرارة بعيداً عن جذع النحاس.

إن بقعة المحرق هي المنطقة من المحرق التي يوجه إليها صحن التركيز الالكترونات الصادرة عن الوشيعه. يزداد

وضوح الخيال الشعاعي كلما تناقص حجم بقعة المحرق أي مصدر الأشعة. إن الحرارة المتولدة في وحدة

مساحة المحرق تصبح كبيرة كلما تناقص حجم بقعة المحرق. لتلافي هذه المشكلة والحصول بنفس الوقت على

بقعة محرق صغيرة يمال المحرق بزاوية 20 درجة على الشعاع المركزي لحزمة أشعة X. هذا يحول بقعة المحرق

الفعليه من 3×1 مم إلى بقعة محرق فعالة قياسها 1×1 مم. النتيجة هي الحصول على مصدر صغير لأشعة X

تسهم في زيادة وضوح الخيال مع بقعة محرق حقيقية كبيرو لضباع الحرارة.

تولد الأشعة السينية:

ترحل الإلكترونات من الوشيعه إلى المحرق وهناك تتحول بعض من طاقتها الحركية إلى فوتونات أشعة X عن

طريق ظاهرتي الإشعاع التصادمي والأشعة النمطية.

- الإشعاع التصادمي Bremsstrahlung:

تنتج تفاعلات الإشعاع التصادمي، المصدر الأول لفوتونات أشعة X في أنبوب الأشعة، عن التوقف المفاجئ أو

الإبطاء المفاجئ للإلكترونات عالية السرعة على المحرق. عندما تصدم الكترونات الوشيعه محرق التنغستين

تتشكل فوتونات أشعة X عند اصطدام الالكترونات بنوى المحرق مباشرة أو عند مرورها قريبة من النوى. إذا

صدم إلكترون عالي السرعة نوى ذرات المحرق تتحول كل طاقته الحركية إلى فوتون أشعة X وحيد. إن طاقة الفوتون الناتج (بال kVp) هي عددياً مساوية للكيلوفولتاج المطبق داخل أنبوب الأشعة لحظة مروره.

تمر معظم الإلكترونات عالية السرعة بشكل قريب أو بعيد عن نوى الذرات. في هذه التفاعلات يُجذب الإلكترون عالي السرعة سلباً الشحنة باتجاه النوى إيجابية الشحنة ويفقد بعض سرعته. هذا التناقص يسبب فقدان الإلكترون لبعض طاقته الحركية التي تُعطى بشكل العديد من الفوتونات الجديدة. كلما كان الإلكترون عالي السرعة قريباً من النواة كلما كان الجذب الكهربائي السكوني كبيراً وبالتالي يكون التأثير الصادم وطاقة فوتونات الإشعاع التصادمي الناتجة كبيرة.

إن تفاعلات الإشعاع التصادمي تولد فوتونات أشعة X التي تكون طاقتها محددة بالفولتاج الذروي العامل (بال kVp). إن جهاز أشعة X سني يعمل بفولتاج ذروي 70000 فولت (70 kVp) مثلاً يطبق فولتاجاً بقيمة 70 kVp عبر الأنبوب لذلك فإن هذا الأنبوب ينتج فوتونات أشعة X بطاقات تتراوح حتى 70000 eV (70 keV) كحد أقصى.

- الأشعة النمطية (بالخاصة):

تتولد الأشعة النمطية عندما يزيح إلكترون قادم من المهبط إلكترونات من مدار في ذرة تنغستين المحرق مشرداً بالتالي الذرة. عندئذ فإن إلكترونات أعلى طاقة من طبقة خارجية في ذرة التنغستين يُجذب بسرعة إلى الفراغ في الطبقة المتضررة مطلقاً فوتوناً ذو طاقة مساوية للاختلاف بين طاقتي الربط المدارية. إن الأشعة النمطية من طبقة K تحدث بتطبيق فولتاج ذروي يفوق الـ 70 kVp. إن الأشعة النمطية هي مصدر ضئيل للإشعاع في أنبوب أشعة X.

العوامل التي تتحكم بحزمة أشعة X:

يمكن تعديل حزمة أشعة X المتولدة في أنبوب الأشعة بتغيير زمن التعرض، معدل التعرض (mA)، طاقة الحزمة (kVp)، الترشيح، شكل الحزمة (الإستيزاء Collimation) ومسافة مريض. منبع.

1- زمن التعرض:

عندما يتضاعف زمن التعرض مع بقاء تيار الأنبوب والفولتاج ثابتين فإن عدد الفوتونات المتولدة بكل الطاقات في حزمة الأشعة يتضاعف أيضاً لكن لا يتغير مجال طاقات الفوتونات. لذلك فإن تغيير الزمن يتحكم ببساطة بكمية التعرض وبعده الفوتونات المتولدة.

2- تيار الأنبوب (mA):

إذا زادت إعدادات تيار الأنبوب فإنه تطبق طاقة أكبر على الوشيعية ما يسخن الوشيعية ويطلق الكترونات أكثر تصطدم بالمحرق لإنتاج الأشعة. لذلك فإن كمية الأشعة الناتجة في أنبوب الأشعة (أي عدد الفوتونات التي تصل إلى المريض والفيلم) هي متناسبة بشكل مباشر مع تيار الأنبوب والزمن الذي يعمل به الأنبوب. مثال: يعمل جهاز أشعة بتيار 10 mA لمدة ثانية (10 mAs) وينتج نفس كمية الأشعة عندما يعمل بتيار 20 mA لمدة 0.5 ثانية (10 mAs).

3- فولتاج الأنبوب (kVp):

إن زيادة الفولتاج يزيد فرق الكمون بين المهبط والمصعد ما يزيد من طاقة كل إلكترون أثناء اصطدامه بالمحرق وهذا ينتج عنه بالتالي فعالية متزايدة في تحويل طاقة كل إلكترون إلى فوتونات أشعة X وبالتالي زيادة في:

1. عدد الفوتونات المتولدة

2. زيادة في طاقتها الوسطى

3. زيادة في طاقتها القصوى.

إن العدد المتزايد للفوتونات الناتجة في واحدة الزمن باستخدام فولتاج أعلى ينتج عن الفعالية المتزايدة في إنتاج فوتونات الإشعاع التصادمي عندما يتفاعل عدد متزايد من الالكترونات عالية الطاقة مع المحرق.

تناسب قدرة فوتونات أشعة X على اختراق المادة مع طاقتها، فالفوتونات عالية الطاقة لها قدرة أكبر على اختراق المادة بينما الفوتونات منخفضة الطاقة نسبياً لها احتمالية أكبر لأن تمتص من قبل المادة. لذلك كلما كان الفولتاج وبالتالي الطاقة الوسطى لحزمة أشعة X أعلى كلما كانت قدرة الاختراق للحزمة عبر المادة أكبر. يعبر عن القدرة الاختراقية لحزمة أشعة X بمصطلح طبقة نصف القيمة (HVL) Half-value layer. إن الـ HVL هي ثخانة مادة ماصة كالألومنيوم المطلوبة لإنقاص نصف عدد الفوتونات في حزمة من أشعة X تمر عبر هذا الماص. مع ازدياد الطاقة الوسطى لحزمة أشعة X تزداد الـ HVL الخاصة بها.

4- الترشيح Filtration:

تتألف حزمة أشعة X من طيف من فوتونات أشعة X مختلفة الطاقة، لكن فقط الفوتونات ذات الطاقة الكافية لاختراق البنى التشريحية والتي تصل إلى الفيلم هي المفيدة تشخيصياً. تسهم الفوتونات طويلة الموجة وذات الطاقة المنخفضة في تشعيع المريض وزيادة الخطر عليه لأن ليس لها الطاقة الكافية للوصول إلى الفيلم. لذلك ولأجل تقليل تشعيع المريض يجب إزالة هذه الفوتونات الضعيفة الطاقة. يتم هذا جزئياً بوضع فلتر من الألمنيوم في طريق الحزمة. يزيل الألمنيوم بشكل انتقائي العديد من الفوتونات منخفضة الطاقة مع تأثير أقل على الفوتونات عالية الطاقة القادرة على اختراق النسيج والوصول إلى الفيلم.

عند تحديد كمية الترشيح المطلوبة لجهاز أشعة X معين فإنه يجب الأخذ بالاعتبار كل من الـ kVp والترشيح الطبيعي للأنبوب وجداره. يتألف الترشيح الطبيعي من المواد التي تصادفها فوتونات أشعة X في سيرها من المحرق حتى تشكل الحزمة المستخدمة خارج غلاف الأنبوب. هذه المواد تتضمن الجدار الزجاجي للأنبوب الأشعة، الزيت العازل المحيط بالعديد من الأنابيب السنية، والمادة العازلة التي تمنع الزيت من السيلان خارج

الأنبوب. إن الترشيح الطبيعي لمعظم أجهزة الأشعة يتراوح بين 0.5 إلى 2 مم أمينيوم معادل. إن الترشيح الإجمالي هو حاصل الترشيح الطبيعي مضافاً إليه أي ترشيح إضافي يتم تزويد الجهاز به بشكل أقراص من الألمنيوم توضع في رأس جهاز الأشعة. يجب أن يكون الترشيح الإجمالي في مسار حزمة أشعة X مساوياً لـ 1.5 مم أمينيوم معادل لجهاز يعمل بفولتاج ذروي 70 kVp و 2.5 مم أمينيوم معادل لكل قيم الفولتاج الأعلى.

5- الإستيزاء Collimation:

إن المزوي Collimator هو حاجز معدني يحوي فتحة في وسطه يستخدم لتقليل حجم حزمة أشعة X وبالتالي حجم النسيج المتشعة للمريض. تعتبر المزويات الدائرية والمستطيلة الأكثر استخداماً في طب الأسنان. تزوي عادةً حزم الأشعة السنية إلى دائرة قطرها 7 سم. إن المزوي الدائري هو صفيحة ثخينة من مادة ظليلة شعاعياً (عادةً رصاص) ذو فتحة دائرية مركزة فوق منفذ الأشعة في رأس أنبوب الأشعة تخرج عبرها حزمة أشعة X. بالعادة فإن المزويات الدائرية تكون مدمجة داخل اسطوانات التوجيه مفتوحة النهاية. تقلل المزويات المستطيلة حجم الحزمة إلى حجم أكبر قليلاً من حجم فيلم الأشعة ما يقلل بشكل أكثر فعالية تشعيع المريض غير الضروري.

إن استخدام الاستيزاء يحسن جودة الصورة لأن المزوي يمتص الأشعة المتناثرة الصادرة عن المريض والتي قد تصل إلى الفيلم وتقلل من جودة الخيال.

6- قانون عكس مربع المسافة:

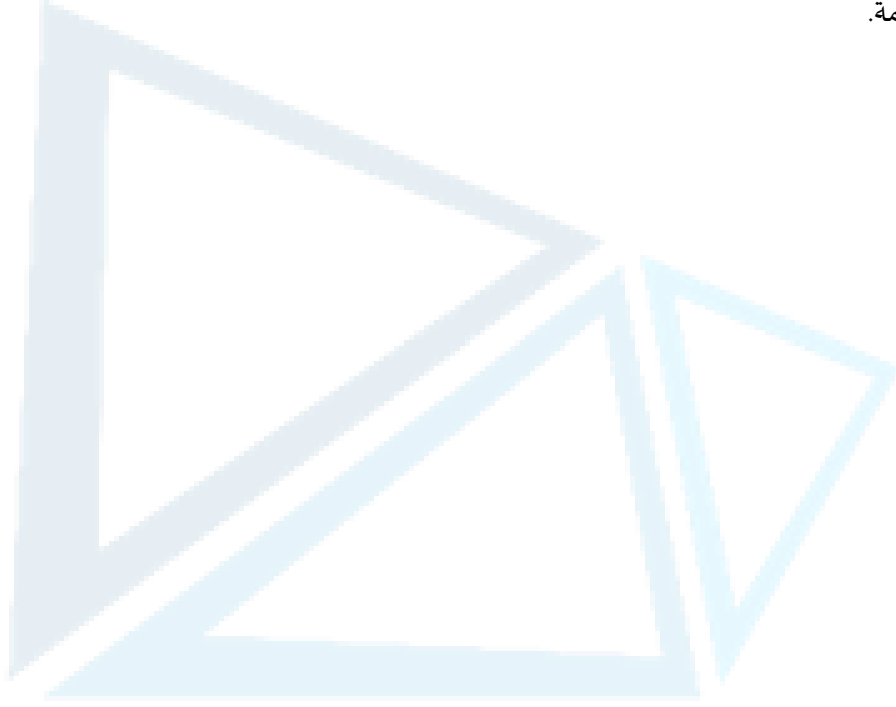
إن شدة حزمة أشعة X على نقطة معينة (عدد الفوتونات في منطقة عرضية بوحدة زمن التعرض) يعتمد على المسافة بين جهاز القياس وبقعة المحرق. إن شدة حزمة معينة يتناسب عكسياً مع مربع المسافة عن المنبع. إن سبب هذا التناقص في شدة حزمة الأشعة هو تباعد حزمة الأشعة بابتعادها عن المنبع ويعبر عن ذلك بالعلاقة

$$I_1/I_2 = (D_2)^2 / (D_1)^2$$



جَامِعَة
الْمَنَارَة
MANARA UNIVERSITY

حيث a هي الشدة و D هي المسافة، لذا إذا قيست جرعة 1 غراي على مسافة 2 م فإن جرعة 4 غراي تقاس على مسافة 1 م و 0.25 غراي على مسافة 4 م. لذا فإن تغيير المسافة بين أنبوب الأشعة والمريض له تأثير واضح على شدة الحزمة.



جَامِعَة
الْمَنَارَة
MANARA UNIVERSITY