الفصـل الأول

1.1 المقدمة:

ظلت الأشعة السينية إلى عهد قريب أداة التشخيص الطبي الوحيدة ، ولايزال التصوير الإشعاعي الذي تتقدم تقنيته باستمرار يحتل الساحة دون منازع ،رغم أنه اغتنى شيئاً فشيئاً بتقنيات مستعارة إلى حد كبير من الفيزياء والمعلوماتية ، حيث تم تحقيق صور الكترونية يمكن ترقيمها وتسجيلها في حاسوب ، ويستمر الفيزيائيون بإغناء الطب بتقنيات تشخيص جديدة ، وقد شهدت الفترة الأخيرة ميلاد التصوير الطبقي بالتجاوب المغنطيسي النووي[1].

تمنح كل طرق التصوير الإشعاعي صوراً تشريحية نحصل عليها بفضل منبع أشعة خارجي، فإذا كان المنبع موجوداً داخل العضوية ، وتمكنا من تقصي أثره فإننا نحصل على معلومات شتى عما يجري داخل الجسم ، وهذا ما يدعى التصوير الومضائي Scintigraphy يجري تقصي أثر العناصر المشعة التي تصدر أشعة جاما توأم الأشعة السينية في التصوير الإشعاعي بعد أن يحقن بها المريض ، إما بشكل حر أو مقترنة بجزئ ذي إلفة لعضو أو نسيج ما ، يتم الكشف عن أشعة جاما من خارج الجسم بجهاز يدعى آلة التصوير الجامي Gamma Camera اخترعها هال أنجيهHal Anger 1958م وهو فيزيائي من بيركلي- Berkly الولايات المتحدة[1].

حقق هذاالاختراع تقدماً باهراً كما أن التصوير الومضائي التقليدي يمنح صوراً إشعاعية لداخل الجسم يعتمد تحليلها على تقدير الاختلافات في شدة اسوداد الأفلام التي تترجم في الاختلافات في تركيز المادة المشعة ، لذلك كانت قراءة الصور تتطلب من الطبيب خبرة جيدة ومهارة[1].

لقد أدى استخدام المعلوماتية (علم الحواسب) وتطور الحواسب وهبوط أسعارها إلى الانتقال بالصور من التحليل الكيفي إلى الكمي ، بيد أن التصوير الومضائي لا يزودنا إلا بمسقط على مستوى واحد تتراكب عليه بُنى مختلف الأعضاء التي تمر بها الأشعة داخل الجسم ، الأمر الذي يجعل الكثير من التفاصيل غير واضحة ، واستفاد الطب النووي من التطور الكبير في مجال التصوير الطبقي Computed Tomography التي اقترحه فرانك في هامبورغ عام 1938م ، والأخصائي في التشخيص الإشعاعي كورماك A. M. Cormack من جنوب أفريقيا ، نزح إلى بوستن بالولايات المتحدة من جهة ، ومن قبل الأمريكيين كول Kuhl D. E وإدوارد Edward الاخصائيين في الطب النووي من جهة أخرى ، والمهندس هاونسفيد G.N.Hounsfied من شركة EMI البريطانية، أدى إلى ظهور التصوير الطبقي العرضاني، وما تم بعد ذلك من تطوير أدى إلى التصوير الطبقي بالاصدار بنوعية حسب طبيعة الإشعاعات المستخدمة [1].

التصوير الطبقي أحادي الفوتونsingle photo emission computed tomography ، وفيه تستخدم عناصر مشعة تصدر أشعة جاما والكاشف آلة التصوير الجامي ، والتصوير الطبقي بالبوزيترون +β (الكترون موجب) ، وفيه تستخدم عناصر مشعة تصدر إشعاعات +β والكاشف بوزيترون كاميرا ، فالتصوير الطبقي إذن تقنية واعدة ، نظراً لأنها توضح آلية الأمراض العضوية دون عقابيل وإجراء الدراسات الديناميكية[2].

ومن الدراسات السابقة في هذا المجال دراسة Dr. C. GurudasNayak, Dr. Rajesh Kumar and Mr. Michal Heichel ، والتي أظهرت نتائج بحثهم الحصول على معلومات كثيرة عن الحالة داخل الجسم التي كانت في البداية غير مرئية ، والحصول على صور تشريحية للغدة الدرقية وللعظام باستخدام التكنيشيوم ^{99m} واليود 131 على التوالي ، وأيضاً الحصول على معلومات عن عمل الكلية من خلال تتبع حركة المادة المشعة داخل الكلية باستخدام جهاز جاما كاميرا [3].

2.1 مشكلة البحث:

إن التصوير الومضائي التقليدي يعطي صوراً إشعاعية لداخل الجسم يعتمد تحليلها على تقدير الاختلاف في شدة اسوداد الأفلام ، التي تترجم في الاختلافات في تركيز المادة المشعة ، لذلك كانت قراءة الصور تتطلب من الطبيب خبرة جيدة ومهارة ، مما يجعل هذه الأشكال الكمية عرضة للشك ، لذلك فلابد من تسليط الضوء على واحدة من أنجح سبل التصوير الطبي Gamma Camera التقنية التي تستخدم علم الحواسب للانتقال بالصور من التحليل الكيفي إلى الكمي.

3.1 فروض البحث:

1. ماهو أهم جهاز في أقسام الطب النووي.

2. ماهي آلة التصوير الجامي Gamma Camera ، ومما تتكون ، وماهو الدور الذي يلعبه كل جزء من أجزائها في تكوين صورة العضو المدروس.
3. كيف نحصل على أشعة جاما التي يتم تحويلها إلى نبضة كهربائية بواسطة آلة التصوير الجامي.
4. ماهي العوامل المؤثرة على حساسية آلة التصوير الجامي ؟

4.1 أهمية البحث:

1. تتمثل أهمية البحث في التعرف على آلة التصوير Gamma Camera ومكوناتها ومبدأ عملها.
2. تسليط الضوء على أهمية الطب النووي في التصوير الإشعاعي الذي يحتل الساحة دون منازع.
3. نقل التجربة وذلك عن طريق تقديم المعلومات عن أحدث الاتجاهات والتطورات في مجال التصوير الطبي.

5.1 منهجية البحث:

اتبع هذا البحث المنهج الوصفي التحليلي.

6.1 محتوى البحث:

يحتوي على أربع فصول ، الفصل الأول مقدمة ، والفصل الثاني تطرق إلى الأشعة ، أما الفصل الثالث تناول التفاعل المتبادل بين إشعاعات جاما والمادة ، الفصل الرابع تحدث عن آلة التصوير الجامي ، الفصل الخامس تحدث عن الجانب العملي حساسية عداد جايجر لاشعاع جاما.

الفصل الثاني
الأشعة

1.2 المقدمة:

تطورت الحياة على الأرض بوجود دائم للخلفية الإشعاعية ، وهذا ليس شيئاً جديداً اخترعه ذكاء الإنسان ، الإشعاع هو طاقة تتحرك خلال الفضاء ، وتعتبر أشعة الشمس أحد أكثر الأشكال المشهورة للإشعاع ، فهي تحرر الضوء والحرارة نستطيع أن نتحكم بتأثيرها علينا بوسائل متعددة.

والحقيقة أن الحياة على الأرض تتطلب وجود ضوء الشمس ، ولكننا أدركنا أن سقوط كمية كبيرة من هذه الأشعة على الأفراد ليس شيئاً جيداً ، وقد يكون خطيراً لذلك يجب التحكم في كمية التعرض لها تمتد الأطوال الموجية الصادرة عن الشمس من الأطوال تحت الحمراء إلى فوق البنفسجية ، ويوجد أنواع أخرى من الإشعاع تحمل طاقة أكبر من الأشعة فوق البنفسجية تستخدم في الطب ، وتتعرض لها من الفضاء والهواء والأرض ، تسمى الأشعةالمؤينة تسبب ضرراً للمادة خاصةً الخلايا الحية ، لذلك يجب التحكم في هذا التعرض ، وتتعرض الكائنات الحية لمستويات مختلفة من الأشعة المؤينة الطبيعية ، بالإضافة إلى الصناعية التي تدخلت في شئون حياتنا ، وخصوصاً النواحي الطبية سواء للفحص أو العلاج مثل أشعة X والمواد المشعة[2].

2.2 الإشعاع:

يعرف الاشعاع بأنه عملية انتقال الطاقة من المصدر إلى المادة بشكل دقائق أو بشكل موجات وعندما تكون لهذه الإشعاعات القابلية على تأين ذرات المادة ، وذلك بفقدانها أو اكتسابها لإكترون أو أكثر فتسمى هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة[2].

3.2 أنواع الإشعاعات:

يمكن تقسيم الإشعاع إلى قسمين رئيسين[2]:

1. الإشعاع غير المؤين:

هو الذي ليس لديه القدرة على تأين الذرات التي يمر خلالها.

2. الإشعاع المؤين:

هو الذي له القدرة على تأيين الذرات التي يمر خلالها ، وذلك بإقتلاع الكترون أو أكثر من الذرة (المتعادلة الشحنة) ، وتحول الذرة إلى أيون يحمل شحنة موجبة. قام (رذرفورد) بدراسة خواص الإشعاعات المنبعثة من العناصر المشعة ، وذلك بوضع عنصر الراديوم المشع داخل حافظة من الرصاص ذات ثقب اسطواني صغير القطر تنبعث منه حزمة ضيقة من الإشعاعات تم تعريض الإشعاع إلى مجال مغنطيسي قوى ، فلاحظ أن الحزمة بعد اختراقها المجال تنقسم إلى ثلاثة أقسام[2]:

أ. تنحرف في الاتجاه العمودي على المجال المغناطيسي ، ويدل اتجاه انحرافها على أنها مكونة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة ، كما يدل مقدار الانحراف على ثقل هذه الجسيمات والتي سميت جسيمات الفا.

ب. تنحرف كذلك في الاتجاه العمودي على المجال المغناطيسي ، ويدل اتجاه انحرافها على أنها مكونة من جسيمات مشحونة بشحنة سالبة ، كما يدل مقدار الانحراف على أنها جسيمات خفيفة سالبة الشحنة سميت جسيمات بيتا.

ج. الإشعاع لايتأثر بالمجال المغناطيسي أي ليس لها وزن أو شحنة فهي فوتونات سميت أشعة جاما.

4.2 أشعة جاما:

وجد العالم(رذرفورد) Ruther Ford أن الأشعة المشعة من المواد النشطة اشعاعياً ليست ذات طبيعة واحدة ، واقترح تصنيفها إلى نوعين إشعاعات شديدة النفوذ أطلق عليها اسم إشعاعات(بيتا) ، وإشعاعات أقل نفوذ أسماها إشعاعات (الفا). وبعد تجارب ونظريات عدة بين عام 1897م وعام 1900م[4].

وفي عام 1990م أكتشف(فيلارد) Villard نوعا ثالثاً من إشعاعات اليورانيوم ، وكانت هذه الإشعاعات أشد نفوذاً من اشعاعات بيتا (β) ولاتتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية ، وأطلق عليها اسم إشعاعات جاما (γ) ، كانت الإشعاعات تنفرج من على البلورات وتشكل أهداب الانفراج ، وقيست أطوال أمواجها فكانت محصوره بين (0.5 A -0.005 A)، فكانت بالتالي تزيد طاقتها على عدة ملايين فولت وأطوال أمواجها أقصر من أطوال أمواج الأشعة السينية[4].

وهي نتاج للتفاعلات النووية التى غالباً ماتحدث فى الفضاء. كما تنتج أيضاً من العناصر المشعة مثل اليورانيوم وباقي النظائر المشعة. ولذلك تحرم المعاهدات الدولية إجراء هذه التفجيرات. وهي تنتشر في الفراغ والهواء بسرعة تساوي سرعة الضوء ، ولها طاقة أعلى وقدرة أكبر على النفاذ من الأشعة السينية.وأشعة جاما ذات تأثير ضار جداً على الخلايا الحية ، وترجع قدرتها على تدمير الخلايا الحية ، أنها أشعة مؤينة ولها قدرة فائقة على النفاذ واختراق الأجسام[4].

أشعة جاما عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation، وهي تحمل أثناء انتشارها مجالين متعامدين ، احداهما كهربي والآخر مغناطيسي. تنبعث على شكل فوتونات Photons، وهى عبارة عن (كمات من الطاقة ليس لها كتلة ولها خواص تشبه خواص الضوء العادي). وتتكون هذه الأشعة من جيوب من الطاقة المنتقلة على شكل حركه موجية ، وتختلف هذه الأشعة من ناحية تأثيرها وكيفية تفاعلها مع المواد ، وذلك ناتج عن أختلاف الترددات (ν) مما يجعل الطاقات (E) مختلفة تبعاً للقانون[4]:

$$E=h\nu \qquad (2.1)$$

5.2 انبعاث أشعة جاما:

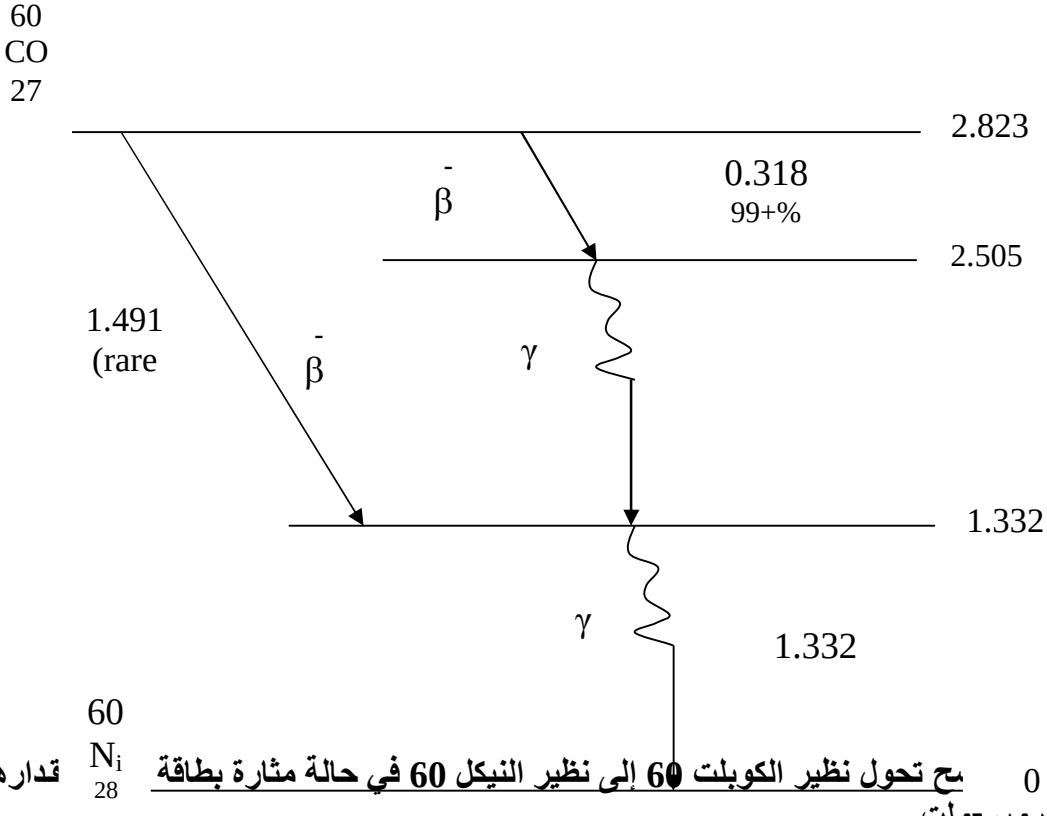
في أغلب الأحيان تكون النوى الوليدةالناتجة عن تفكك جسيمات الفا أو بيتا (أو الأنوية الناتجة عن أي عملية نووية كالتفاعلات النووية مثلاً) ، في حالة مثارة (Excited States). ويعني هذا أن طاقة مكونات النواة في هذه الحالة أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية) ، أي أن كتلة النواة في الحالة المثارة تكون أعلى من كتلتها في الحالة الأرضية (Ground State).ثم خلال زمن قصير جداً تنتقل النواة من الحالة المثارة إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة المستقرة (الأرضية)، للتخلص من طاقة الإثارة الزائدة وذلك باصدارها على شكل إشعاعات كهرومغنطيسية ، تعرف باسم إشعاعات جاما.تصدر هذه الإشعاعات كفوتونات ، والفوتون وحدة جسيمات هذه الأشعة. وطاقته هو الفرق بين حالتي التغير[5].

كما يمكن أن تتخلص النواة من طاقة الإثارة بتجميع هذه الطاقة الزائدة ، وتركيزها على أحد الإلكترونات المدارية (خاصة المدار k لقربه من النواة) ،فينطلق هذا الالكترون تاركاً الذرة حاملاً معه قيمة محددة من الطاقة. وتعرف هذه العملية باسم التحول الداخلي (Internal Conversion)[6].

وتجدر الإشارة إلى أن إزالة الإثارة عن طريق اصدار إشعاعات كهرومغنطيسية (اشعاعات جاما) يمكن أن يحدث بانتقال النواة من الحالة المثارة إلى الحالة الأرضية. كذلك يمكن أن يحدث الانتقال على مراحل كأن تنتقل النواة من الحالة المثارة إلى حالة أقل ، إلى أن تصل النواة للحالة الأرضية. فمثلاً يعتبر كل من الكوبالت 60 والسيزيوم 137 من مصادر إشعاعات جاما ،حيث تتفكك هذه النظائر أولاً عن طريق تفكك بيتا السالب ، فتتكون نظائر النيكل 60 والباريوم 137 بالترتيب ، في حالات مثارة مما ينتج عنه إصدار إشعاعات جاما عند تحول هذه النظائر الأخيرة من الحالة المثارة إلى الحالة الأرضية. ويبين الشكل (1.2) كيفية تحول نظير الكوبالت 60 إلى نظير النيكل 60 في حالة مثارة بطاقة إثارة مقدارها 2.505 ميغا إلكترون فولت. وتنتقل نواة النيكل 60 من هذه الحالة المثارة إلى حالة أقل إثارة ذات طاقة الإثارة الأقل ، وهي 1.332 ميغا إلكترون فولت فينبعث نتيجة لذلك إشعاع جاما حاملاً فرق الطاقة بين الحالتين ،أي حاملاً طاقة مقدارها 2.505-1.332=1.173 ميغا إلكترون فولت.

ثم تنتقل نواة النيكل من هذه الحالة المثارة الأخيرة إلى الحالة المستقرة (الأرضية) ، فينطلق فوتون جاما آخر حاملاً فرق الطاقة بين الحالتين أي 1.332-0=1.332 ميغا إلكترون فولت. وبصفة عامة تكون طاقة الفوتون المنطلق E نتيجة انتقال النواة من حالة مثارة بطاقة E_i إلى حالة أقل إثارة بطاقة E_f هي[5]:

$$E_\gamma = E_i - E_f \qquad (2.2)$$



شكل 0 ح تحول نظير الكوبلت 60 إلى نظير النيكل 60 في حالة مثارة بطاقة قدارها 2.505 ميغا إلكترون فولت

60
CO تحلل
27 رةً ، دون حدوث تفكك ألفا أو بيتا. ومن هذه النظائر

نظير التكنيشيوم 99م ($^{99m}_{TC}$) حيث ينتج هذا ـــــير عن تفكك نظير المولبدنيوم 99 من خلال تفكك بيتا ، ويتكون التكنيشيوم 99م في حالة مثارة ، إلا أنها شبة مستقرة ، حيث يبلغ العمر النصفي لهذه الحالة 6 ساعات وبالتالي ، يعتبر نظير التكنيشيوم 99م نظيراً مشعاً لفوتونات جاما. ولهذا النظير استخدامات متعددة وواسعة في تشخيص العديد من الأمراض وانسداد وضيق الشرايين والجلطات وغيرها ، من خلال حقنه في المريض وتتبع سريان النظير في الأوعية الدموية والأعضاء المختلفة للمريض[5].

تجدر الإشارة إلى أن كل نظير مشع يصدر فوتوناته بطاقة واحدة أو بقيم محددة للطاقة. وبالتالي فإنه بقياس طاقة أو طاقات الفوتونات المنبعثة من نظير معين يسهل تحديد هوية هذا النظير مباشرة ، وبالتالي يقال أن إشعاعات جاما الصادرة عن نظير ما هي بمثابة بصمة لهذا النظير[5].

6.2 خصائص أشعة جاما:

تنبعث أشعة جاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات (Photons) ، وعادةً يصاحب اطلاق جسيمات بيتا من نفس المستوى وتكون لها طاقات من نفس المجال.أن أشعة جاما تبلغ عدة آلاف من الإلكترون فولت إلى بضعة ملايين ، لكنها مخالفة لجسيمات بيتا التى تبطئ عند فقدها الطاقة ، وينتهى الأمر بارتباطهما بالذرة بينما تسير أشعة جاما بكافة طاقتها بسرعة الضوء ، أن أشعة جاما تفقد الطاقة خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عنه قذف الالكترونات من النواة وهي قد تفقدجميع طاقتها أو جزءاً منها خلال الالتقاء ، وإذا ما تم فقد جزء من الطاقة فأن الباقي يستمر بالسير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقة أقل ، وكلما زادت طاقة فوتونات جاما زادت طاقة الإلكترونات المتحررة[7].

والإلكترونات التى يتم انتقال الطاقة اليها من قبل فوتونات جاما تولد التلف في الوسط (بواسطة تأيين وتهييج الذرات) ، ومتى ماتحرر الإلكترون بواسطة الفوتون فإن الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الإلكترون وليس على فوتون جاما الذي يحرره[7].

كما أن قذف الإلكترون المشحون الطاقة (EnergeticElectron) بواسطة الفوتون الذي له طاقة مقدارها 1Mevمثلاً من النواة يعتبر تأين مفرد فقط[7].

أن الإلكترونات عند تباطئها تولد عشرات الألوف من التأينات والتهيجات ، وأن التلف الناتج سوف يعتمد على عدد ونمط التوزيع الفضائي (Spatial Distribution) لهذه التأينات والتهيجات بدلاً من التأين المفرد الناتج من فوتون جاما[7].

يتميز أنبعاث أشعة جاما بأنه ليس طيفاً مستمراً كطيف الأشعة السينية بل هو إشعاع أحادي الطاقة[8].

عندما تنبعث أشعة جاما بواسطة نواة عنصر نشط إشعاعياً فلا يتغير العدد الكتلي ولا العدد الذري للعنصر المشع[9].

7.2 تطبيقات أشعة جاما:

توجد تطبيقات كثيرة ومتعددة ومفيدة لأشعة جاما في مجال الطب والصناعة والعلوم منها:[5].

1. التطبيقات الطبية لأشعة جاما:

تستخدم أشعة جاما في الطب لقتل الخلايا السرطانية ومنعها من النمو. حيث تنفذ أشعة جاما في الجلد وتعمل على تأيين الخلايا وهذا يسبب قتل تلك الخلايا.تستخدم في مجال الطب لدراسة أمراض المخ والكبد والكلى والبنكرياس والغدد الدرقية وغير ذلك. تتعرض هذه الأعضاء لجرعة بسيطة جداً بدرجة مدروسة لتخترق الأعضاء بآلة تصوير تعمل بأشعة(جاما) توضع خارج الجسم[5].

2. الطبيقات الصناعية لأشعة جاما:

تستخدم أشعة جاما فى الصناعة لفحص أنابيب البترول واكتشاف نقاط الضعف فيها. حيث تستخدم أشعة جاما فى تصوير هذه الأنابيب بتسليط أشعة جاما على الأنابيب، ويوضع فيلم حساس خلف الأنابيب وتتكون صورة الظل على الفيلم ، حيث تظهر مناطق الضعف بصورة مميزة مثل تصوير عظم الإنسان بواسطة أشعة اكس. كما تستخدم أشعة جاما فى تخليص المواد الغذائية المصنعة من الجراثيم والبكتريا وغيره. وتستخدم أيضاً فى المفاعلات والقنابل النووية.وفي المجال الصناعي يوضع منبع شعاع (جاما) أمام الشئ المطلوب فحصه ، ونسجل الصورة على لوح فوتوغرافي يوضع خلف هذا الشئ المراد فحصه للتأكد من اللحامات وكشف العيوب الموجودة. وتستخدم أشعة جاما في العديد من التطبيقات في مجال الصناعات الكيمائية ، حيث تستخدم في صناعات البلاستيك لإنتاج أنواع ذات مواصفات معينة ، وإنتاج أنواع من البلاستيك المخلوط بالأسمنت المسلح للحصول على مواد ذات صلابة شديدة.كما تستخدم أشعة جاما في تحسين خصائص الخشب وإكسابه درجات معينة من القساوة وفي عمليات طلائه بحيث يصبح سطحه غير قابل للخدش ولا يتأثر بالحرق[5].

3. التطبيقات العلمية لأشعة جاما:

تستخدم أشعة جاما في تطوير المفاعلات والقنابل النووية والتجارب العلمية لكشف أسرار النواة[5].

الفصـل الثالـث
التفاعل المتبادل بين إشعاعات جاما والمادة

1.3 مقدمة:

تختلف أساليب انتقال الطاقة من إشعاعات جاما إلى المادة اختلافاً جوهرياً عن تلك الأساليب التي تنتقل بها من الجسيمات المشحونة إلى المادة. فعندما يسقط إشعاع جاما على المادة فإنه يمكن أن يفقد طاقته ويمنحها للمادة عن طريق احدي العمليات الثلاثة الرئيسية ، وهي الأثر الكهروضوئي وأثر كومبتون وإنتاج الأزواج. وتجدر الإشارة إلى أن هذه العمليات الثلاث أو بعضها صالحة لجميع طاقات الإشعاعات الكهرومغناطيسية ، بما في ذلك الشعة السينية (X- ray) وإشعاعات الانكباح. بالإضافة إلى ذلك هنالك عدة عمليات نووية أخرى سوف ترد في نهاية هذا الجزء بسبب عدم أهميتها من وجهة نظر امتصاص أشعة جاما في المادة[10].

2.3 امتصاص إشعاعات جاما في المادة:

عند سقوط حزمة متوازية من إشعاعات جاما على المادة الممتصة يخرج الفوتون الذي يتفاعل مع أحد ذرات المادة بأي من العمليات الثلاث- من الحزمة ، وذلك بسبب امتصاص طاقته بالكامل وفنائه (خلال عمليتي الأثر الكهروضوئي أو إنتاج الأزواج) ، أو بسبب تشتته وانحرافه عن المسار (أثر كومبتون) بذلك يكون عدد الفوتونات dNالتي تخرج من الحزمة متناسباً تناسباً مطرداً مع عدد الفوتونات الساقطة N0 ومع سمك المادة dx.

أي أن[10]:

$$dN = -\mu N_0 dx \qquad (1.3)$$

حيث μ هو ثابت التناسب ، ويعرف باسم معامل الامتصاص Linear Absorption Coefficient ، أما الإشارة السالبة فتعني نقص عدد الفوتونات التي تخترق المادة (أي زيادة عدد الفوتونات الخارجة من

الحزمة) ، وعموماً جرى العرف على استخدام شدة الإشعاعات I بدلاً من عددها N. إذ يفضل كتابة المعادلة في الصيغة التالية[10]:

$$dI = -\mu I_0 dx \quad (2.3)$$

وعند تكامل طرفي العلاقة (2) نحصل على الصيغة المعروفة التالية:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.3)$$

حيث I_0 هي شدة الإشعاعات الساقطة على المادة ، I هي شدة الإشعاعات التي اخترقت سمكاً من المادة مقداره x[10].

يستخدم اصطلاح السمك النصفي $x_{½}$ (half - thickness) أو (half value layer HVL) ، وهو عبارة عن سمك المادة المعينة اللازم لخفض شدة الإشعاعات إلى النصف.

أي أن[10]:

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu X_{½}} \quad (4.3)$$

وبالتالي فإن السمك النصفي هو[10]:

$$x_{½} = \frac{In_2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}\ (cm) \quad (5.3)$$

1.2.3 الأثر الكهروضوئي:

ذكرنا أن الأثر الكهروضوئي هو أحد عمليات تفاعل إشعاعات جاما مع المادة. فنتيجة للتصادم المباشر بين الفوتون الساقط وأحد الإلكترونات المرتبطة بالذرة تنتقل طاقة الفوتون بأكملها إلى ذلك الإلكترون وينطلق تاركاً ذرته ، ويسمى الإلكترون المنطلق بالإلكترون الكهروضوئي[11].

ويمكن التعبير عن طاقة الإلكترون المنطلق طبقاً لقانون بقاء الطاقة بالعلاقة التالية:

$$E_e = E_\gamma - B = h\nu - B \quad (6.3)$$

حيث E_e طاقة الإلكترون المنطلق ، E_γ طاقة الفوتون الساقط ، وهي تساوي $h\nu$ حيث h ثابت بلانك ، ν تردد الإشعاع ، أما B فهي عبارة عن طاقة ترابط الإلكترون بالذرة ، لذا لا يحدث هذا الأثر إلا إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة ترابط الإلكترون بالذرة ، أي أن $h\nu$>B. فالفوتونات التي تكون طاقتها أكبر قليلاً من طاقة ترابط الإلكترون بالذرة تحدث الأثر الكهروضوئي مع إلكترونات المدارات الخارجية للذرة نظراً لترابطها الضعيف بنواة الذرة. وبزيادة طاقة الفوتونات فإنها تحدث الأثر الكهروضوئي على الإلكترونات الأكثر ترابطاً بنواة الذرة إلى أن تصبح طاقة الفوتون أكبر من طاقة تربط الإلكترون في المدار K (أي أن $h\nu$>B_k) ، عندئذ يمكن أن تشترك جميع إلكترونات الذرة في الأثر الكهروضوئي[11].

يجب ملاحظة أنه لا يمكن حدوث الأثر الكهروضوئي على الإلكترونات الحرة ، نظراً لعدم تحقق قانون بقاء الاندفاع (في حالة الإلكترون المترابط بالذرة يتحقق قانون بقاء الاندفاع ، حيث تحمل الذرة عند انطلاق الإلكترون الجزء الباقي من الاندفاع). وعند خروج إلكترون من المدار K يحل محله الكترون آخر من المدار L ، وبالتالي تنطلق من الذرة إشعاعات سينية مميزة لها ، والتي هي عبارة عن فرق طاقة الترابط في المدارين L, K[11].

أي أن:

$$h\nu_1 = B_K - B_L \quad (7.3)$$

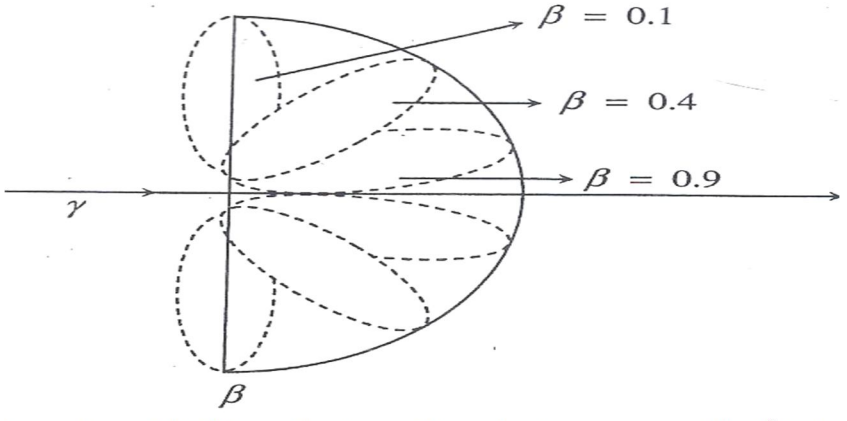
وحتى الآن يصعب ايجاد علاقة نظرية لتعيين قيمة المقطع العرضي للأثر الكهروضوئي σ_{ph} لذا يتم تعيين قيم هذه المقاطع عملياً ، ومع ذلك توجد علاقة شبه نظرية لتحديد قيم المقطع العرضي للأثر الكهروضوئي في حالة انطلاق الإلكترون من المدار K ، وهذه العلاقة هي[11]:

$$\sigma_{ph}(K) = 1.068 \times 10^{-32} Z^5 \left[\frac{m_0 C^2}{h\nu}\right]^{\frac{7}{2}} cm^2 \quad (8.3)$$

حيث z هو العدد الذري للمادة الماصة ، C سرعة الضوء في الفراغ ، m_0 كتلة السكون للإلكترون ، ν هو تردد الفوتون الساقط ، ولا تصلح هذه العلاقة الأخيرة للاستخدام عند زيادة طاقة الفوتونات[11].
فعندما تصبح طاقة الفوتون $h\nu >> m_0c^2$ ، تتخذ العلاقة السابقة الشكل التالي[11]:

$$\sigma_{ph}(K) \approx 1.068 \times 10^{-32} Z^5 \left[\frac{m_0c^2}{h\nu}\right] \quad cm^2 \qquad (9.3)$$

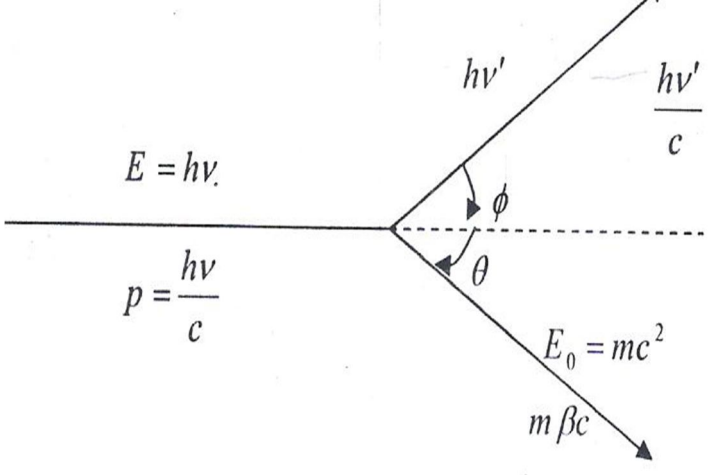
يلاحظ أن المقطع العرضي للأثر الكهروضوئي يتناسب طردياً مع Z^5 للمادة الممتصة ، لذا تفصل العناصر ذات العدد الذري الكبير كالرصاص لعمل الدروع والحواجز الواقية من إشعاعات جاما[11].
وعندما تكون طاقة الفوتونات صغيرة يكون احتمال انطلاق الإلكترون الكهروضوئي أكبر ما يكون في اتجاه عمودي على اتجاه السقوط ، وبزيادة طاقة الفوتون يزداد احتمال انطلاق الإلكترون مكوناً زوايا أقل من 90˚ بالنسبة لاتجاه السقوط[11].
وعند الطاقات العالية جداً يصبح انطلاق الإلكترونات أكبر ما يكون في اتجاه قريب من اتجاه السقوط. ولكن لا ينطلق الإلكترون الكهروضوئي اطلاقاً في اتجاه سقوط الفوتون بسبب قانون بقاء الاندفاع. ويبين الشكل (1.3) اتجاهات انطلاق الإلكترون الكهروضوئي عند قيم مختلفة للمعامل $\beta = \frac{\upsilon}{c}$ ، حيث υ سرعة الإلكترون عند الانطلاق وC سرعة الضوء في الفراغ[11].



شكل $\boldsymbol{\beta}$

3. 2. 2 أثر كو

بينما لا يحدث الأثر الكهروضوئي إلا على الإلكترونات المرتبطة بالذرة ، فإنه يمكن أن يحدث أثر كومبتون على الإلكترونات الحرة أو الإلكترونات ضعيفة الإرتباط بالذرة. ويتلخص هذا الأثر في أنه عند سقوط فوتون طاقته $h\nu$ على الكترون حر يكتسب الإلكترون جزءاً من هذه الطاقة فينطلق بسرعة معينة. بينما يفقد الفوتون هذه الطاقة وتصبح طاقته $h\nu'$ ويستطار بالتالي عن مساره[11]:



شكل (2.3) يوضح طاقة واندفاع كل جسيم قبل وبعد استطارة كومبتون

يوضح الشكل أعلاه (2.3) هذه العملية ، حيث تظهر قيمة طاقة وزخم كل جسيم قبل وبعد الاستطارة.وترمز m لكتلة الإلكترون بعد استطارته، هذه الكتلة مرتبطة بكتلته عند السكون بالعلاقة المعروفة[11]:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta}}; \quad \beta = \frac{v^2}{c^2} \qquad (10.3)$$

وحيث أنه لا يشترك في التصادم إلا الفوتون والإلكترون ، فإنه يمكن كتابة معادلات بقاء الطاقة والزخم (الاندفاع) في الاتجاه الأفقي والرأسي بالتتابع كالتالي[11]:

$$\left\{\begin{array}{l} h\nu = h\nu' + mc^2 - m_0c^2 \\ \frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c}cos\emptyset + m\beta c\, cos\theta \\ 0 = \frac{h\nu}{c}\sin\emptyset - m\,\beta c\, sin\theta \end{array}\right\} \qquad (11.3)$$

وبحل هذه المجموعة من المعادلات يمكن ايجاد قيمة طاقة الفوتون المستطار ، والعلاقة بين زاوية استطارة الفوتون وزاوية انطلاق الإلكترون على النحو التالي[11]:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1+\gamma(1-cos\emptyset)} \qquad (12.3)$$

حيث:

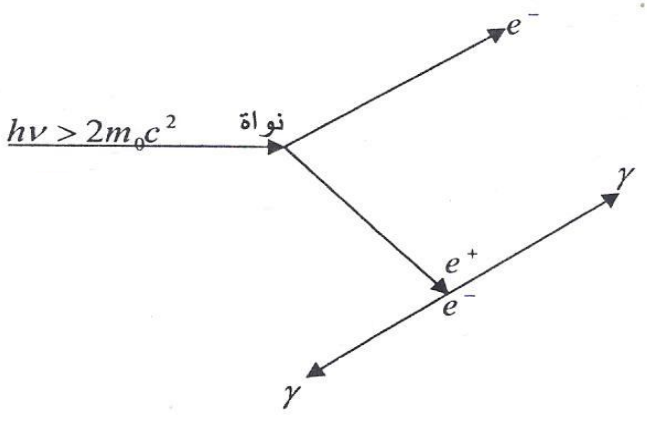
$$\gamma = \frac{h\nu}{m_0C^2}$$

$$\text{Cos}\,\theta = -(1+\gamma)tan\frac{\emptyset}{2}$$

وتجدر الإشارة إلى أن الفوتون يمكن أن يستطار بزوايا مختلفة ، وتعتمد طاقته $h\nu$ بعد الاستطارة على زاوية استطارته $\emptyset$ ، فكلما زادت زاوية استطارته قلت طاقته وهو ما توضحه العلاقة السابقة[11].

3.2.3 إنتاج الأزواج Pair Production:

من المعروف أن طاقة السكون للإلكترون هي m_0c^2= 0.511Mev ، وعندما تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من ضعف هذه القيمة ، أي أكبر من1.022Mev فإنه يمكن أن يحدث تفاعل بين الفوتون الساقط والمجال الكهربي للنواة ينتج عنه فناء الفوتون ، وتولد (أو إنتاج) الكترون سالب وبوزيترون ينطلقان بطاقتي حركة -T ,+Tعلى الترتيب. ويبين الشكل التالي رسماً توضيحياً لهذه العملية[10]:



شكل (3.3) يوضح عملية إنتاج الأزواج

وباستخدام قانون بقاء الطاقة يسهل ايجاد طاقتي الحركة لكل من الإلكترون والبوزيترون ، حيث أنّ [10]:

$$h\nu - 2m_0c^2 = T- + T+ \qquad (13.3)$$

3. 3 التشتت النووي التجاوبي وأثر موسباور Mossbauer:

بالإضافة إلى الأساليب الرئيسة الثلاثة السابقة يمكن أن تحدث عدة أنواع أخرى من التفاعلات المتبادلة بين إشعاعات جاما وبين المادة ، تفقد عن طريقها هذه الإشعاعات طاقتها ، ومن أمثلة هذه التفاعلات ما يعرف باسم التفاعل النووي بالفوتونات (Photonuclear Reaction) ، حيث تمتص النواة الفوتون الساقط ، وينتج عن هذا الامتصاص خروج جسيم من النواة كالنيترون أو البروتون أو غيرهما[11].

كذلك تعتبر الاستطارة النووية التجاوبية للفوتونات احدي أنواع تفاعلات الفوتونات الساقطة مع المادة. ويعتبر جميع هذه التفاعلات مهملة من وجهة نظر امتصاص المادة للفوتونات ، وذلك لصغر مقاطعها العرضية بالمقارنة بكل من الأثر الكهروضوئي أو استطارة كومبتون أو إنتاج الأزواج[11].

ومع ذلك تعتبر الاستطارة النووية التجاوبية Nuclear Resonance Scattering ذات أهمية خاصة لارتباطها بالظاهرة المعروفة باسم أثر موسباور ، وتتلخص الاستطارة النووية التجاوبية في أنها إذا كانت طاقة الفوتون الساقط تماثل طاقة الإثارة لاحدي المستويات (حالات النواة) يمكن أن تمتص النواة هذا الفوتون ، وتنتقل بذلك من الحالة الأرضية إلى الحالة المثارة ذات الطاقة المحدودة، ويقال في هذه الحالة أنه حدث للفوتون امتصاص تجاوبي في النواةabsorption Resonance، فإذا انبعث الفوتون من جديد من النواة المثارة (حتى تعود إلى الحالة الأرضية) كانت طاقته أقل بمقدار صغير للغاية من طاقة الفوتون الممتص ، حيث تحمل النواة المرتدة هذه الطاقة الصغيرة للغاية والمعروفة باسم طاقة الارتداد ، لذا فإن هذا الفوتون المنبعث من جديد من النواة لا يمكن أن يعاد امتصاصه بواسطة نواة من النوع نفسه ، لأن طاقته أصبحت أقل من طاقة الامتصاص التجاوبي ، ولما كانت طاقة الارتداد صغيرة للغاية فإنه يمكن أن يعاد امتصاص الفوتون المنبعث ، إذا أضيف للنواة المماثلة طاقة تساوي تماماً طاقة الارتداد وتعرف هذه الظاهرة باسم أثر موسباور[11].

ويعتبر أثر موسباور فائق الحساسية لأي تغيرات طفيفة في طاقة الفوتون المنبعث ، نظراً للصغر المتناهي لطاقة الإرتداد. وبسبب حساسيته الفائقة يستخدم أثر موسباور في الوقت الحالي في اجراء العديد من القياسات الأساسية ، التي تتطلب حساسية متناهية[11].

الفصـل الرابــع
آلة التصوير الجامي

1.4 مقدمة:

التصوير في الطب النووي يسمى التصوير الومضائي المشع Scintigraphy ، حيث يتم استخدام جهاز يكشف عن أشعة جاما للتصوير للحصول على صور تشريحية لجسم المريض.

يتم اعطاء المريض المادة الصيدلانية المشعة ، إما عن طريق حقنة وريدية أو مادة سائلة بمفردها أو تخلط مع الطعام وتؤخذ عن طريق فم المريض أو الاستنشاق[2].

يتم تصوير المريض في وقت اعطاء الحقنة المشعة أو بعد فترة زمنية محددة تختلف من فحص لآخر ، معتمدة على عمر نصف المادة المشعة الفيزيائي والبيولوجي[2].

تتركز المادة المشعة في العضو المراد تصويره .نظم التصوير المستخدمة قديماً في هذا المجال ، تتكون من كاشف الإشعاع الذي يمسح ببطء المنطقة المراد تشخيصها من جسم المريض ، بواسطة قياس شدة الإشعاع المنبعثة من النقاط المنفردة داخل المنطقة ، وأحد هذه الأجهزة تسمى الماسح الخطي Rectilinear ، وبسبب الزمن الطويل المستخدم للمسح والتباين غير الجيد للصورة قد تمت الاستعاضة عن هذه المنظومات منذ السبعينات بأجهزة أكثر تطوراً ، والتي تولد الصور بسرعة أكبر يسمى جاما كاميرا ، وهي من الأجهزة الحديثة الأكثر شيوعاً [2].

2.4 آلة التصوير الجامي Gamma Camera:

وهي الجهاز الأهم في أقسام الطب النووي وآلية عمله هو التقاط أشعة جاما (أمواج كهرومغناطيسية) الصادرة عن جسم المريض وتحديد شدتها ومكان صدورها من الجسم ، وتحويلها إلى نبضة كهربائية Electrical Signal يمكن نقلها بعد تضخيمها إلى حاسوب لتخزينها بشكل رقمي ، ومن ثم معالجتها وتحليلها واظهارها بشكل صور توضح توزع المادة المشعة داخل العضو المدروس. كما يمكن نقلها مباشرةً إلى طابعة على أفلام أشعة Multi Format Camera[12].

3.4 تركيب آلة التصوير الجامي:

الأجزاء الرئيسية المكونة كما هي واضحة بالشكل أدناه[12]:

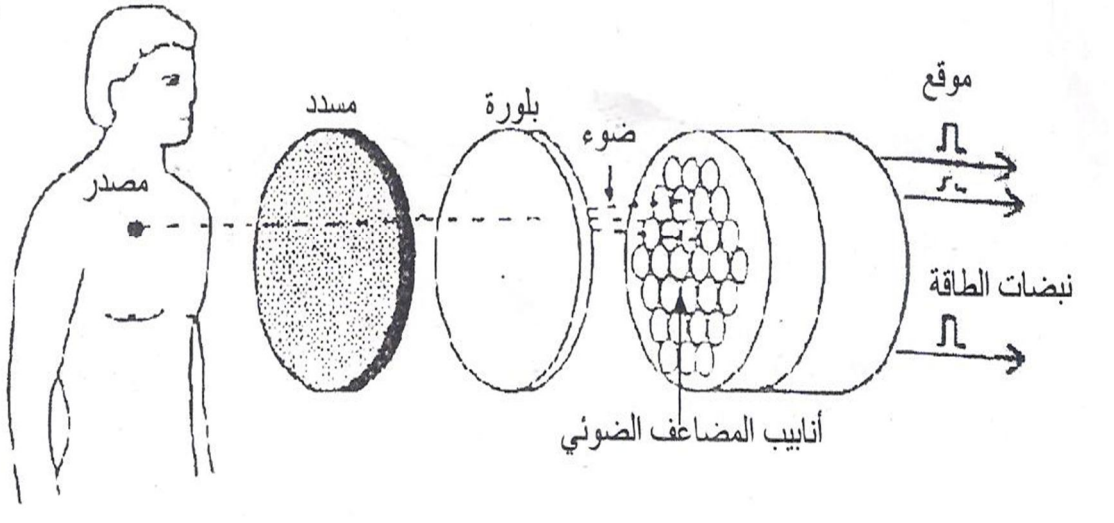
أ. المسدد (المحدد أو موجه الأشعة) Collimator.

ب. البلورة الومضائية Scintillation Crystal.

ج. المضخم الكهروضوئي Photo Multiplier (PM).

د. دائرة التحديد المكاني للحدث Event Localization Circuit.

ه. محلل ارتفاع النبضة Pulse height Analysis (PHA).



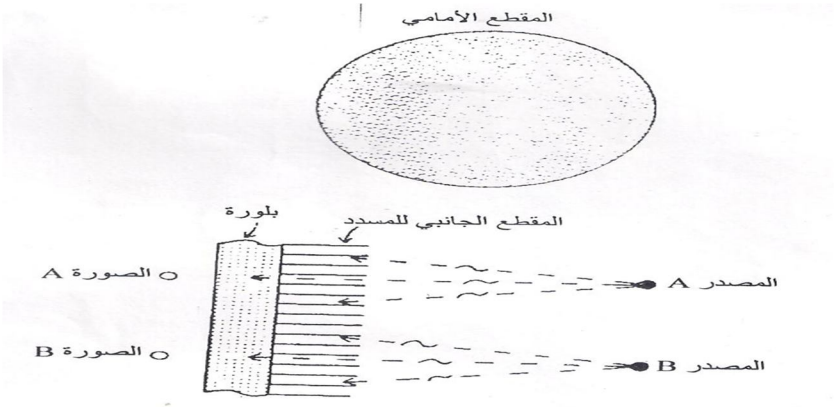
شكل (1.4) يوضح مكونات الجاما كاميرا

1.3.4 المسدد Collimator:

يعتبر المسدد واسطة ربط نظام المسح والعضو المدروس وينعكس تأثيره على النظام ، والشكل (2.4) يوضح ذلك[12].

- **الغاية من المسدد:**

يتطلب الحصول على صورة للعضو المدروس وصول الفوتونات (أشعة جاما) من العضو إلى البلورة الومضائية ، ونظراً لطبيعة الفوتونات (أمواج كهرومغناطيسية) ، وعدم إمكانية اجراء تغيير في اتجاهها بواسطة عمليات فيزيائية ، ولصدورها عن العضو المدروس في كافة الاتجاهات وبشكل عشوائيStatistical يستخدم المسدد الذي يتحكم باتجاه فوتونات جاما ، ويقوم بالحذف الاختياري للفوتونات التي ليست بالاتجاه المطلوب ، ويصنع المسدد عادة من الرصاص أو التنجستن وهو مؤلف من عدد كبير من الثقوب[12].



شكل (2.4) يوضح الوظيفة الأساسية للمسدد Callimator

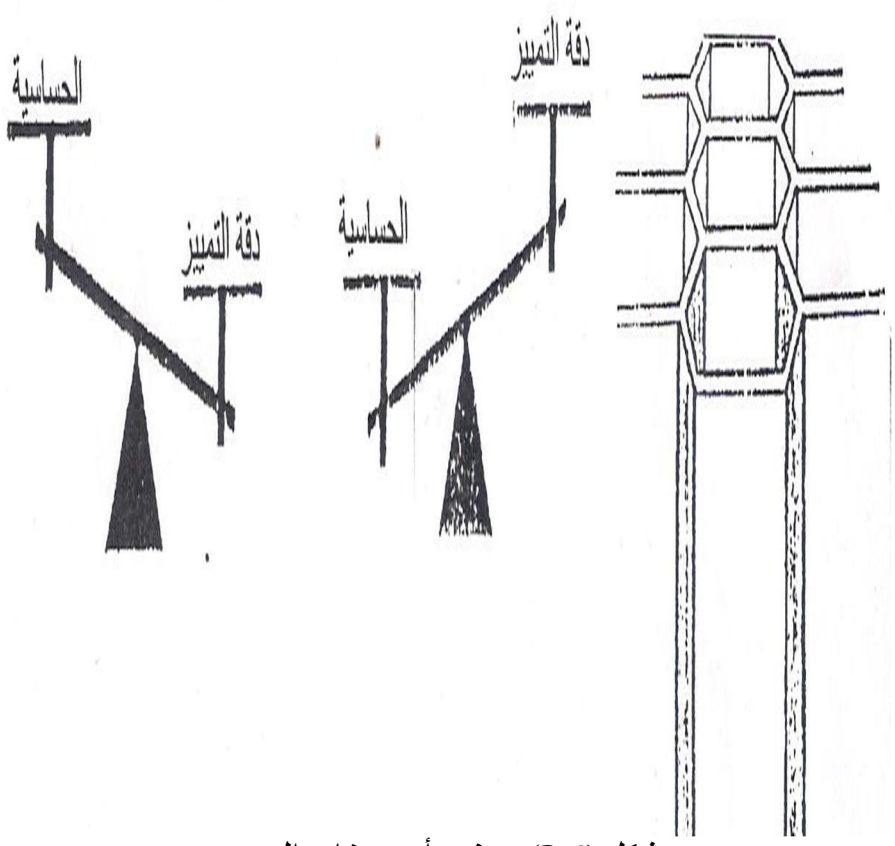
- **أهم مميزات المسدد:**

1. الحساسية Sensitivity.
2. دقة التمييز Resolution.

أما الحساسية ، فهي نسبة عدد الفوتونات المسجلة (الصورة) إلى عدد الفوتونات الصادرة عن المنبع المشع ($0<Se<1$) [12].

دقة التمييز هي قدرة النظام على التمييز بين منبعين مشعين منفصلين تم وضعها بجانب بعضها[12].

ومن المهم القول :أنه يمكن الحصول على مسدد ذو حساسية عالية ولكن على حساب دقة التمييز ، وبالعكس يمكن أن نحسن دقة التمييز على حساب الحساسية ، وأن ما يحسن الحساسية الزيادة في قطر الفتحة (الثقب) المحدد وقصر طول الفتحة(Septal Length)، وهذا يؤدي إلى ضعف دقة التمييز وبالعكس تناقص قطر الفتحة وزيادة طولها يؤدي إلى تحسين دقة التمييز واضعاف الحساسية[12].



شكل (3.4) يوضح أهم ميزات المسدد

- **أنواع المسددات:**

يمكن تصنيف المسددات وفق الشكل الهندسي كما يلي[12]:

- **مسدد الثقوب المتوازية Parallal- Hole Collimators:**

وهو الأكثر استخداماً لأنه يعطي صورة للعضو بتناسب واحد إلى واحد مع العضو المدروس، ويمكن أن نميز عدة أنواع مسدد عالي الحساسيةHigh Sensitivity قدرة تمييز عالية High Resolution.

- **مسدد التطبيقات العامة General Purpose:**

وهو مسدد يتميز بتوازن بين الحساسية وقدرة التمييز. والشكل (3.4) أعلاه يوضح ذلك[12].

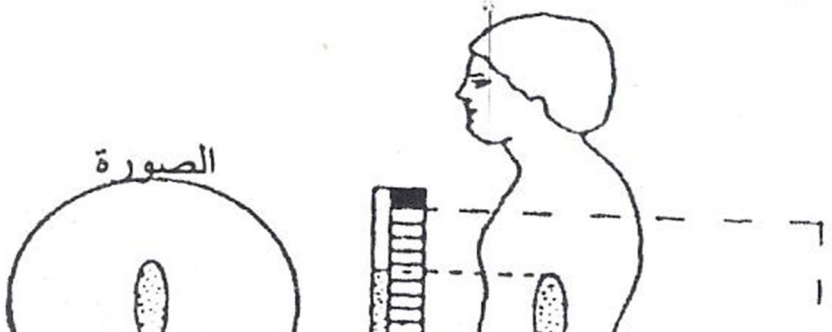
- **مسدد الثقوب المتباعدة Diverging والمتقاربة Converging:**

في التطبيقات العملية يكون العضو المدروس أكبر أو أصغر من حجم البلورة ، في هذه الحالة فإننا نستخدم مسدد الثقوب المتباعدة أو مسدد الثقوب المتقاربة لتصغير أو تكبير صورة العضو المدروس (شكل 4.4- ب) ، (4.4- ج)[12].

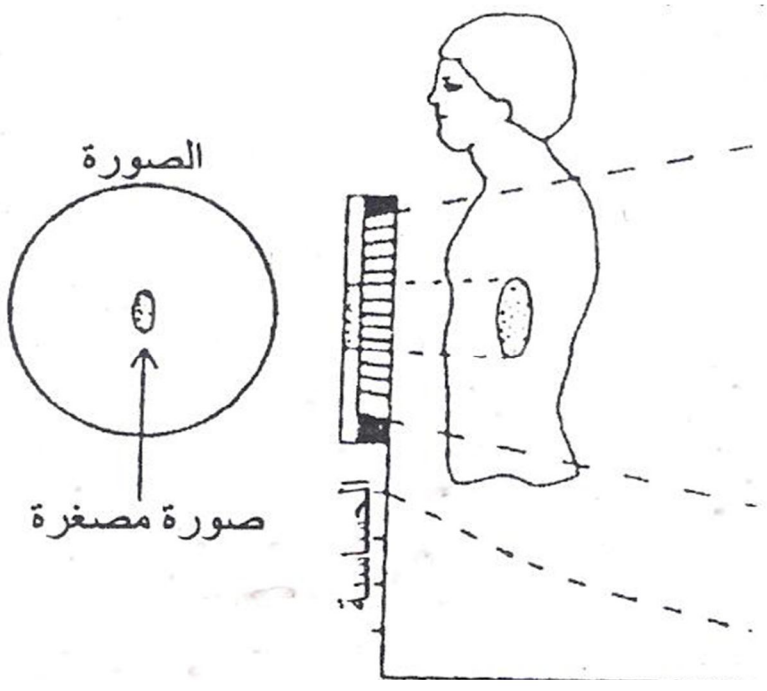
- **مسدد الثقب الوحيد Pin hole Collimator:**

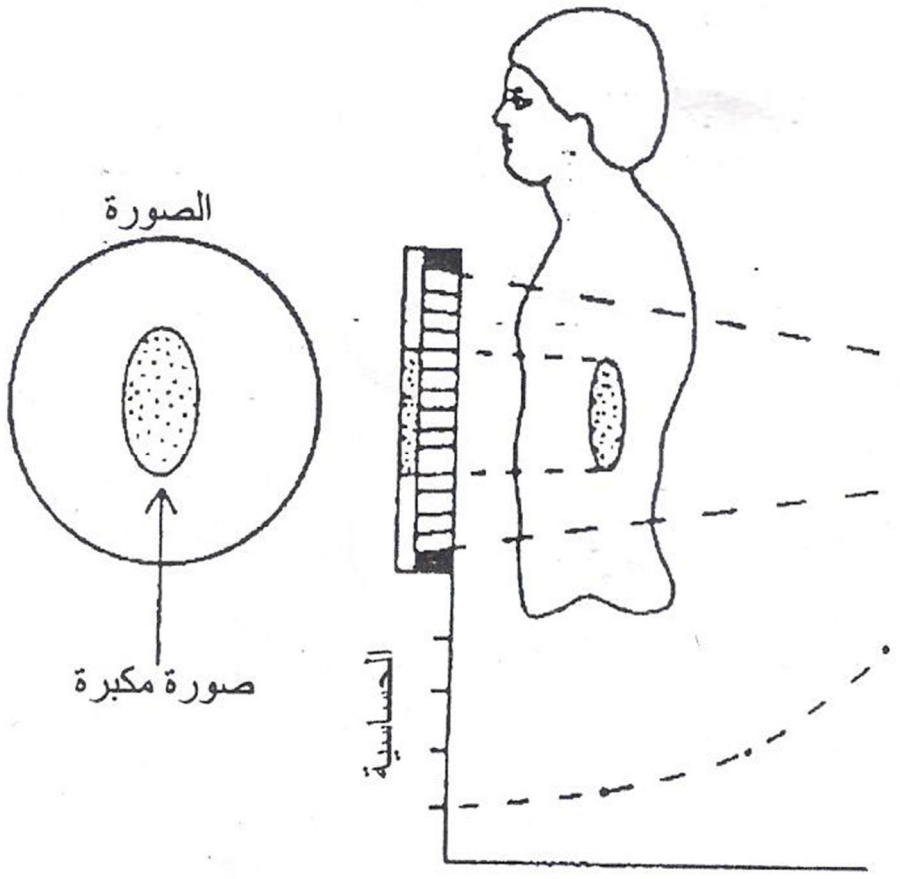
مؤلف من مخروط رصاصي مزود بثقب (فتحة) وحيدة في نهايته ، وهو يحقق دقة تمييز كبيرة ، وأن حقل الرؤية يزداد بإزدياد المسافة بين العضو وفتحة المسدد ويستخدم خاصة لدراسة الغدة الدرقية[12].

وعموماً يستخدم المسدد ليسمح بمرور الفوتونات الصادرة عن العضو المدروس وفق منحنى واحد لتصل إلى البلورة ، بينما تمتص الفوتونات التي ترد بالاتجاه غير المرغوب فيه أو تضعف شدتها ، وهي التي تحدد حساسية المجموعة ودقة تمييزها ، والمسدد الجيد هو الذي يصنع بمراعاة الموازنة بين الحساسية ودقة التمييز[12].

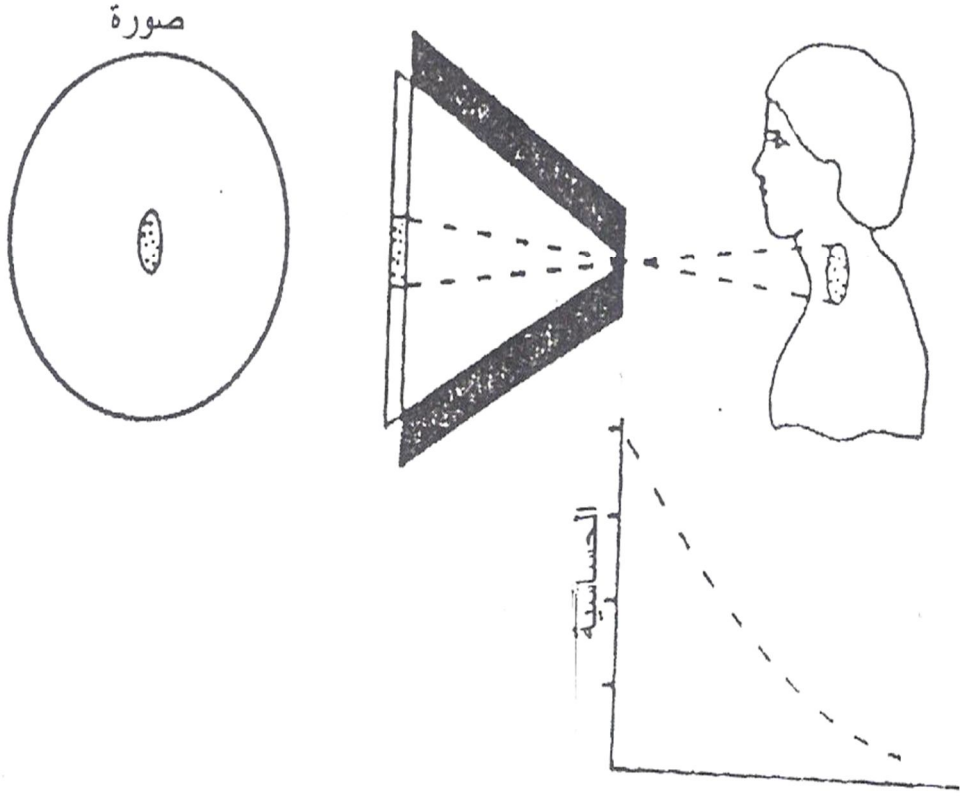


شكل (4.4.أ) يوضح مسدد الثقوب المتوازية





شكل (4.4.ج) يوضح المسدد المتقارب



شكل (4.4. د) يوضح مسدد الثقب الوحيد

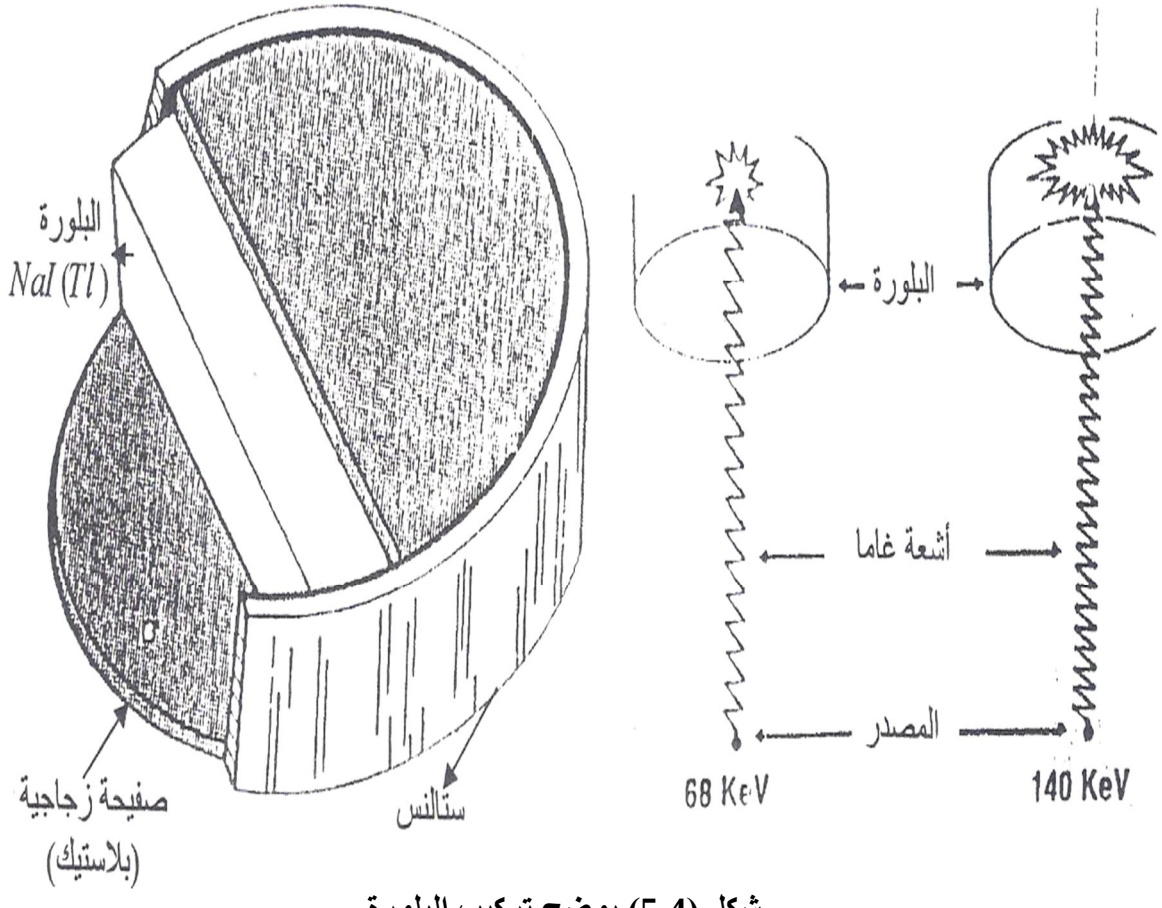
2.3.4 البلورة الومضائية Scintillation Crystal:

وظيفتها تحويل فوتونات جاما إلى فوتونات ضوئية أو انتشار كمبتون Compton Scattering أو إنتاج الأزواج Pair Production ، وتصدر فوتون التألق شدته تتناسب مع طاقة الفوتون الوارد ، وهي بلورة من يوديد الصوديوم المشاب بالثاليوم ، ويرمز لها NaI(TI) (شكل 5.4).

3/8 إنش (9.5mm) لعد فوتونات جاما بطاقة 140kev (التكنيشيوم المشع 99م).

1/4 إنش (6.4mm) لعد فوتونات جاما بطاقة 60-80kev (الثاليوم المشع 21).

وتعد بلورات يوديد الصوديوم NaI(TI) ماصة للرطوبة Hygroscopic مما يتطلب عزلها عن الوسط الخارجي ، لذلك توضع بين سطحين من الزجاج أو البلاستيك، وتحاط بوسط حماية عبارة عن حافظة من الألمونيوم أو ستانلس ستيل يفصل بينهما وبين البلورة طبقة من أكسيد المغنزيوم لتعمل كمبدد للإنعكاس ، ويتغير لون البلورة إلى اللون الأصفر عندما تمتص الرطوبة وتصبح عديمة الفائدة وتحتاج إلى استبدال ، ونظراً لرقتها وهشاشتها فيجب عدم تعريضها لصدمات ميكانيكية أو تغييرات مفاجئة بالحرارة ، وهنا ننصح بأن تكون درجة حرارة الغرفة ثابتة ولا تتغير بصورة مفاجئة ، كما يجب تركيب المسدد على الرأس بشكل دائم حتى لا تتعرض البلورة للصدمات الميكانيكية[12].



شكل (5.4) يوضح تركيب البلورة

3.3.4 المضخم الكهروضوئي Photo Multipler (PM):

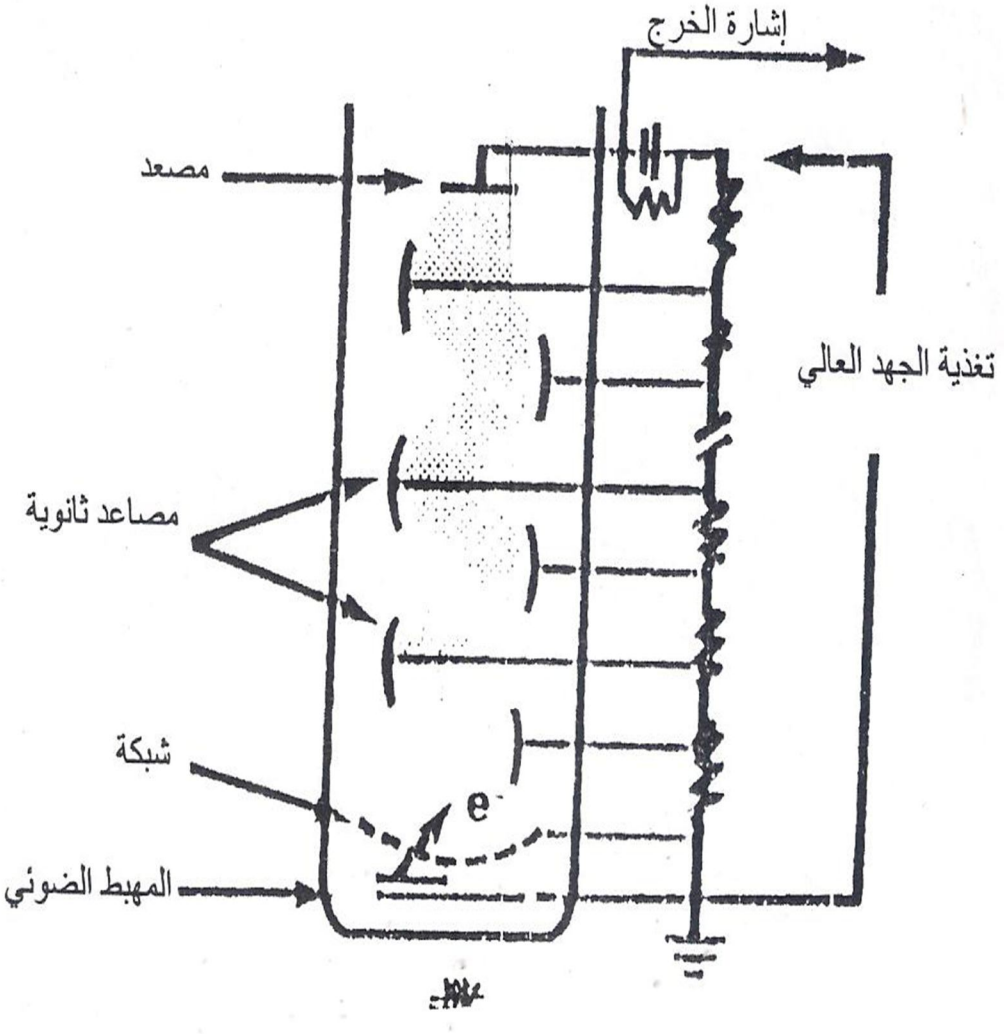
يلي البلورة مصفوفة متناظرة من المضخمات الكهروضوئية يتراوح عددها ما بين 19 إلى 91 مضخم ، وهي تلتصف على سطح البلورة بواسطة مادة سيليكونية Siliconic Substance أوبلاستيكية ، وتدعى الدليل الضوئي Light Guid ، وذلك لتحقيق تماس كامل لا يسمح بضياع الفوتونات الضوئية الصادرة عن البلورة.

وللحصول على صورة للعضو المدروس يجب تحديد شدة الفوتونات الصادرة عن المريض، وأيضاً تحديد احداثيات انبعاث الضوء من البلورة لذلك نستخدم المضخم الكهروضوئي ، وهو يتألف من أسطوانة

زجاجية مغلقة من طرفيها ، والطرف القريب من البلورة يدعى وجه المضخم ، تقع خلفه طبقة حساسة للفوتونات تدعى المهبط الضوئي Photo Cathod ويصنع عادةً من طبقة رقيقة لمركب غير شفاف أو نصف شفاف أنتمون سيزيوم Cs Sb يليها شبكة مجمعة Focusing Gride، وسلسلة من المصاعد الثانوية تدعى دانود Dynodes ، ومصعد Anode يتصل بسلك إلى خارج المضخم (شكل 6.4) [12].

- **آلية عمل المضخم:**

عندمايسقط فوتون ضوئي صادر عن البلورة على المهبط يمتص الأخير طاقة الفوتون محرراً الكترون ضوئي تجذب الإلكترونات التي تغادر المهبط الضوئي إلى الدانود الأول منتجة عدد من الإلكترونات من أجل كل الكترون وارد هذه الإلكترونات الثانوية الصادرة عن الدانود الأول تملك طاقة صغيرة ، لذلك تقاد بسهولة إلى الدانود الثاني نتيجة فرق الجهد الموجب بينهما ، وتعاد العملية عدة مرات ونحصل في النهاية على 10^7 إلى 10^{10}الكترون ثانوي تصل المصعد ، وهي كافية لتشكيل نبضة (إشارة) كهربائية ملائمة تتناسب طرداً مع طاقة الفوتون الوارد[12].



شكل (6.4) يوضح المضخم الكهروضوئي

يلاحظ إن معدل التضخم Amplification- Gain للمضخم (PM) يتأثر بعدة عوامل نذكر منها[12]:

- الجهد العالي المطبق فإن اختلاف بنسبة 1% ، يؤدي إلى نقصان عدد الإلكترونات الثانوية بنسبة 10%.
- عمر المضخم (PM) أن ربح المضخم يتناقص مع قدمه مقارنة بالمضخم الجديد ويؤثر هذا على نوعية الصورة.
- المجال المغنطيسي الأرضي تتأثر الإلكترونات الثانوية المسرعة داخل المضخم بالمجال المغناطيسي الأرضي ، لذا فإن المضخمات تحاط بأسطوانة من سبيكة معدنية Mu- Metal مؤلفة من الحديد والنيكل والنحاس والمغنزيوم ، وهي معادن عالية النفاذية المغناطيسية.

- **المضخم الأولي Pre- Amplifire:**

إن إشارة خرج المضخم الكهروضوئي (PM) تكون ضعيفة ونقلها عبر الأسلاك يؤدي إلى اضعافها أكثر وتشويشها ، لذلك يستخدم المضخم الأولي عبر مضخمات تكون حساسة للشحنة تنتج نبضة تكاملية أو حساسة للتيار ، وهي عبارة عن ترانزستور بربح يزيد عن الألف ، وذلك لتخفيض السعة المتولدة عن الكابل[12].

- **المضخم Amplifier:**

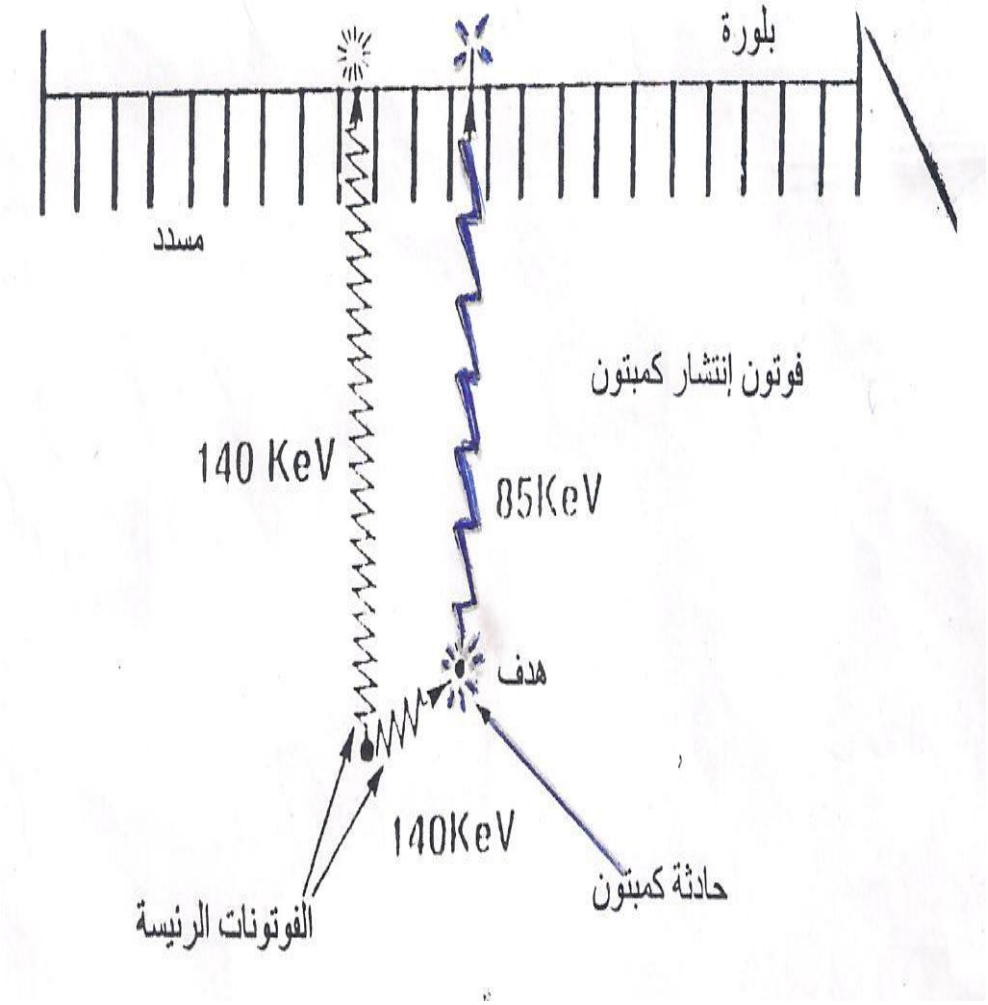
وظيفته تحويل النبضات ذات المطال المنخفض إلى نبضات ذات شكل نقي وذات جهد كافي ليصل إلى بقية عناصر النظام ، ولانجاز ذلك يجب أن يتميز المضخم بما يلي[12]:

يجب أن يقدم المضخم حساسية دخل مقبولة للنبض الوارد ، ويجب أن يتمتع بربح كافٍ لمعالجة النبضة في المراحل القادمة ، يجب أن يحفظ سوية نسبة الإشارة إلى الضجيج عند حدها الأعظم[12].

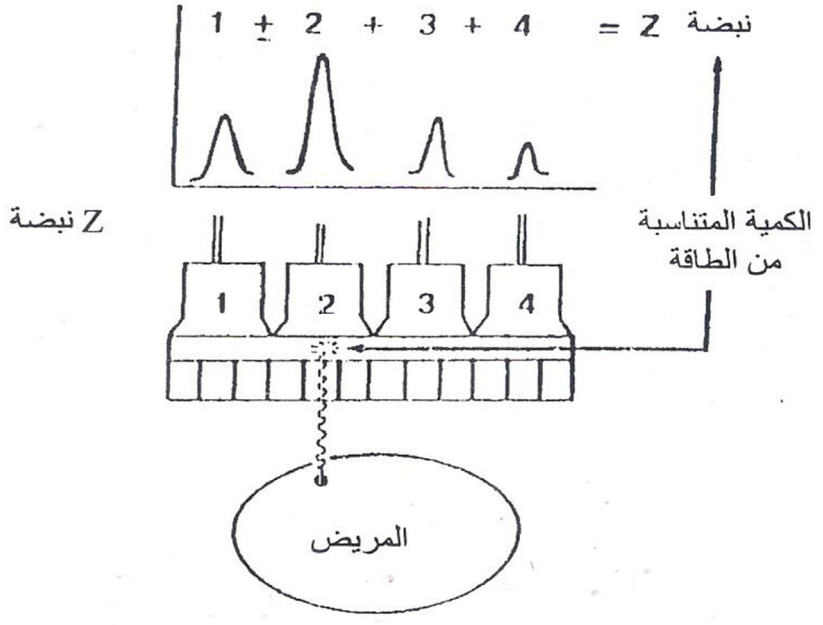
4.3.4 دائرة تحديد المواقع الإحداثية للحدث Event Localization Circuitry:

ذكرنا بأن المضخم القريب من موقع الحدث يعطي إشارة (نبضة) عالية ، بينما المضخمات المجاورة والبعيدة عن موقع الحدث سترى كمية من الضوء أقل ، وبالتالي فإنها تعطي إشارة كهربائية تتناسب عكسياً مع بعدها عن موقع الحدث ، وبتجميع كافة الإشارات الصادرة عن جميع المضخمات نحصل على الإشارة Z بمطال شدة تتناسب طرداً مع طاقة فوتونات جاما الواردة ، تستخدم الإشارة Z من أجل رفض الحوادث المضاعفة ورفض الإشارات التي تقع في مجال النظير المنتخب ، وذلك عبر دارة تحديد ارتفاع النبضة PHAالاشكال (7.4 ، 8.4 ، 9.4)[12].

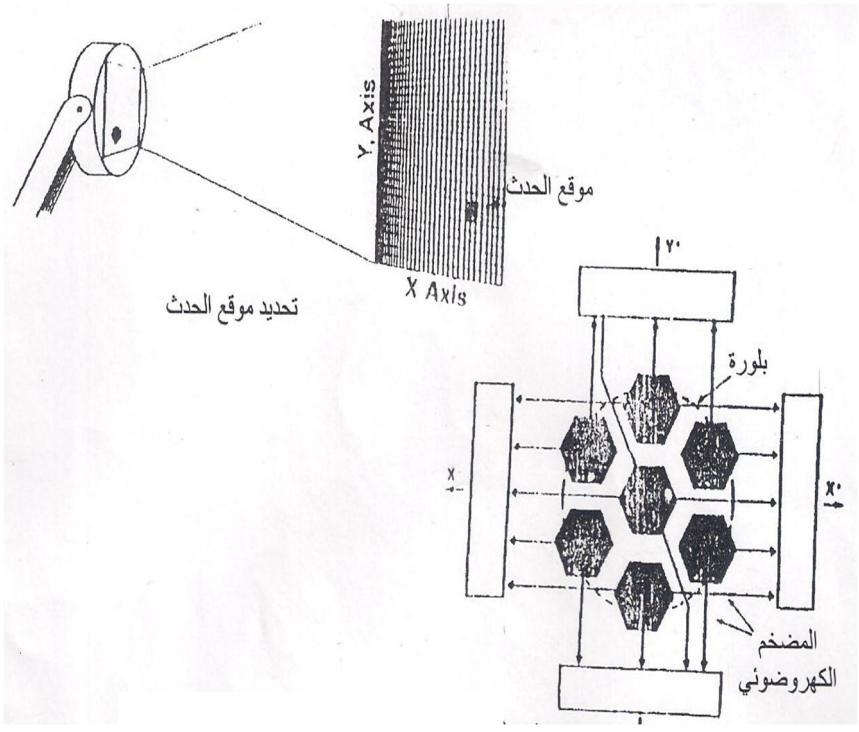
ويتم تحديد إحداثيات موقع الحدث بقياس مدى اسهامه في كل مضخم كهروضوئي PM ، حيث ترسل كافة الإشارات الصادرة عن المضخمات الكهروضوئية إلى سلسلة من المقومات ، وهذه المقاومات لها قيم مختلفة تدل على موقع المضخم الكهروضوئي على البلورة ، وتكون الإشارات المستحصلة من هذه الشبكة هي إشارتي x+, x- تمثل مقدار متناسب مع موقع الحدث على يمين أو يسار المحور y وعند تساويهما ، فإن الحدث يقع على المحور y وإشارتي y+, y- ، وهي تمثل مقدار متناسب مع موقع الحدث أعلى أو أسفل المحور x ، أما إذا كانت الإشارتين متساويتين فإن الحدث يقع على المحور x ، أما إذا كانت جميع الإشارات متساوية فإن الحدث يقع في مركز البلورة (مبدأ الإحداثيات). يوضح الشكل رقم (9.4) حادثة واقعة في الربع الأول من البلورة ، حيث x, y إحداثيي موقع الحدث مستقلين عن كمية الضوء المجمعة الكلية Z ، حيث تستخدم الإشارة Z من أجل رفض الحوادث غير الصحيحة ، وذلك عبر دارة PHA هذه الإحداثيات تستخدم لتمركز حزمة الإلكترونات على راسم الاهتزاز المهبطي ، والذي بدوره ينتج نقطة على الفلم تقابل مكان الحدث على البلورة ، والذي يقابل مكان النظير المشع داخل العضو المدروس[12].



شكل (7.4): يوضح رفض الحوادث المضاعفة عبر دارة محلل ارتفاع النبضة



شكل (8.4): يوضح دائرة تجميع الاشارات الموضعية



شكل (9.4) يوضح مصفوفة مقاومات التجميع

5.3.4 محلل (مميز) ارتفاع النبضة Pulse height Analysis (PHA):

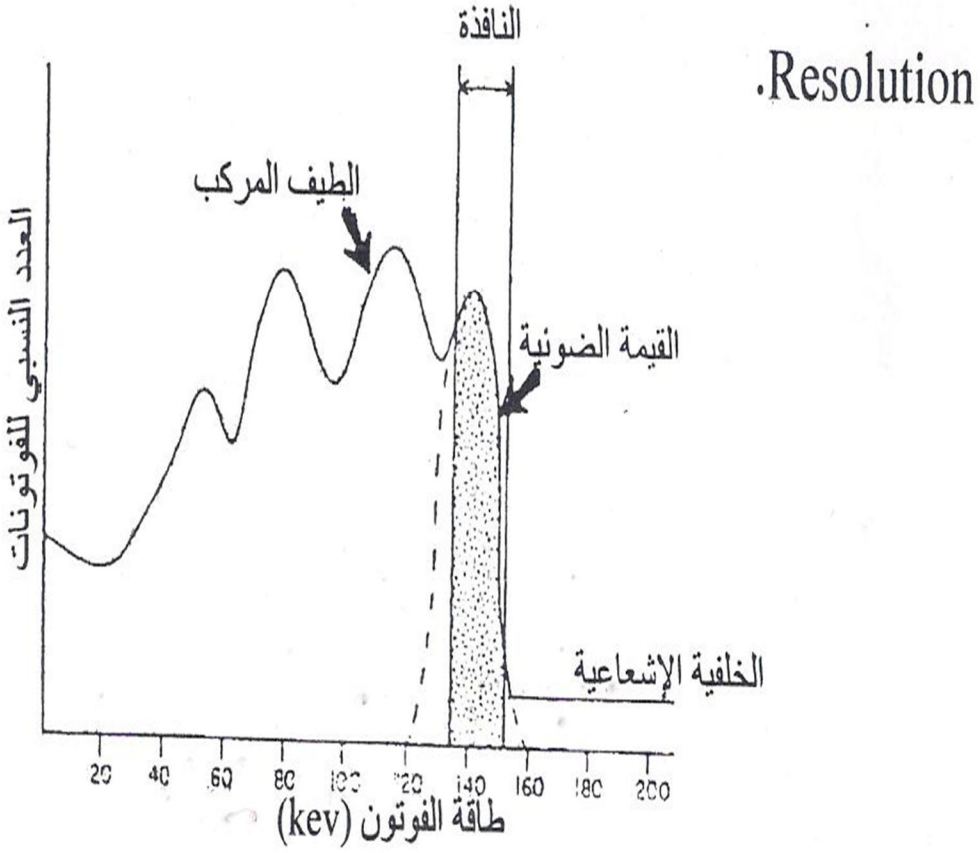
يمكن أن نطلق على محلل ارتفاع النبضة – المميز- وهو وسيلة لاختيار الإشارات ضمن نطاق محدد مسبقاً ، تحمل الإشارة Z معلومات لها علاقة بطاقة الفوتون ، إن مطال هذه الإشارات متناسب مع طاقة فوتون جاما ، ويتم التحكم بها عن طريق تغيير الجهد العالي وربح تضخيم المضخمات الكهروضوئية وربح المضخمات الأولية في الدارات الإلكترونية.

إن منشأ الحوادث المكتشفة يعود إلى:

1. طاقة الفوتون الرئيسي.
2. الفوتونات المتناثرة من المريض والجهاز (انتشار كمبتون).
3. الإشعاع الخلفي من المريض أو من النظائر الموجودة بالقرب منه ، إن هدف محلل ارتفاع النبضة هو اعطاء إشارات x, y, z صحيحة بغية معالجتها واظهار الصورة، وحذف الإشارات التي لا تملك معلومات طاقة صحيحة والناتجة عن انتشار كمبتون.

إذا استخدمنا التكينشيوم المشع 99م (140kev) للحصول على الصورة فيجب ضبط آلة التصوير الجامي ، وذلك بوضع سيرنك يحوي مادة التكنيشيوم أمام وجه آلة التصوير الجامي كما في الشكل (10.4) فنحصل على طيف هذه المادة ، وتحوي النهاية العظمى عند 140kev ، وهذا ما يسمى Peaking the Camera من ثم نحدد النافذة Sitting Windows بشكل نسبة مئوية من الطاقة العظمى فمثلاً 140 ±10% تشير إلى أن محلل الطيف يسجل كافة الإشارات Z الناتجة عن فوتونات جاما التي تقع طاقتها ضمن المجال 126 و154 ، ويحذف سائر النبضات الأخرى الواقعة خارج هذا المجال، وبذلك نكون قد حددنا ما يسمى بالنافذة.

إن نافذة كبيرة تعني استقبال إشارات كثيرة ناتجة عن انتشار كمبتون ، مما يؤدي إلى زيادة في حساسية النظام ، ولكنه يؤدي إلى صور قليلة التمييز Resolution[12].

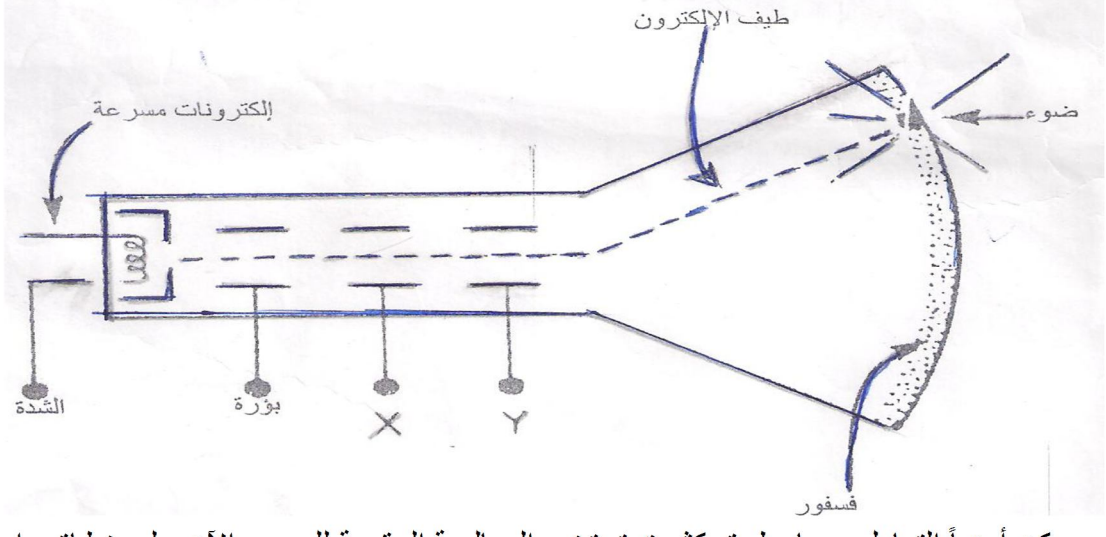


شكل (10.4) يوضح ضبط فتحة النافذة للحصول على القيمة المطلوبة من مركبات طيف أشعة جاما

4.4 الاظهار:

يستخدم أنبوب الأشعة المهبطة كما موضح في الشكل (11.4) لاظهار الصورة وأطياف النظائر المشعة ، ويتكون الأنبوب من (مدفع الكتروني ، صفائح التركيز ، صفائح الانحراف الشاقولي – صفائح الانحراف الأفقي ، شاشة من مادة فسفورية)[12].

تسرع الإلكترونات بواسطة حقول كهربائية ضمن الأنبوب المفرغ من الهواء ، الشعاع الأولي الوارد هو إشارة Z ، وعندما تصطدم حزمة الإلكترونات بالشاشة فإن عملية توهج سوف تحدث لتحول الإلكترونات إلى فوتونات ضوئية مشيرة إلى موقع الحدث كما ذكرنا ، وأن الجهد المطبق على صفائح الانحراف الشاقولي والأفقي يتناسب مع إشارة x, y المولدة في رأس آلة التصوير الجامي[12].



ا
ة
، وبعدها
ة
الحاسوب ، ويمكن أيضاً التعامل معها بطرق كثيرة. تستخدم المعالجة الرقمية للصور الآن على نطاق واسع

في الطب النووي حيث يمكن بسهولة استخدامها بسرعة للسيطرة على الصور وعرضها وكذلك تحليل صورة أو سلسلة من الصور[2].

الفصل الخامس
حساسية عداد جايجر لأشعة جاما

1.5 مقدمة:

تعتبر آلة التصوير الجامي من الأجهزة المستخدمة في التشخيص الطبي ، وتعتمد جودة الصورة على عدة عوامل مثل التباين والحساسية وقدرة التميز. ويهتم هذا البحث بالحساسية وهي تعني أقل شدة لإشعاع جاما يمكن للجهاز أن يقيسه ، ونسبةً لصعوبة إجراء التجربة على كاشف إشعاع آلة التصوير الجامي(البلورة الومضائية) تم الاستعاضة عن ذلك باستخدام عداد جايجر.

2.5 الأجهزة والأدوات:

لمعرفة حساسية عداد جايجر تم استخدام الأجهزة الآتية: (عداد جايجر، مصدر إشعاع جاما، ساعة إيقاف).

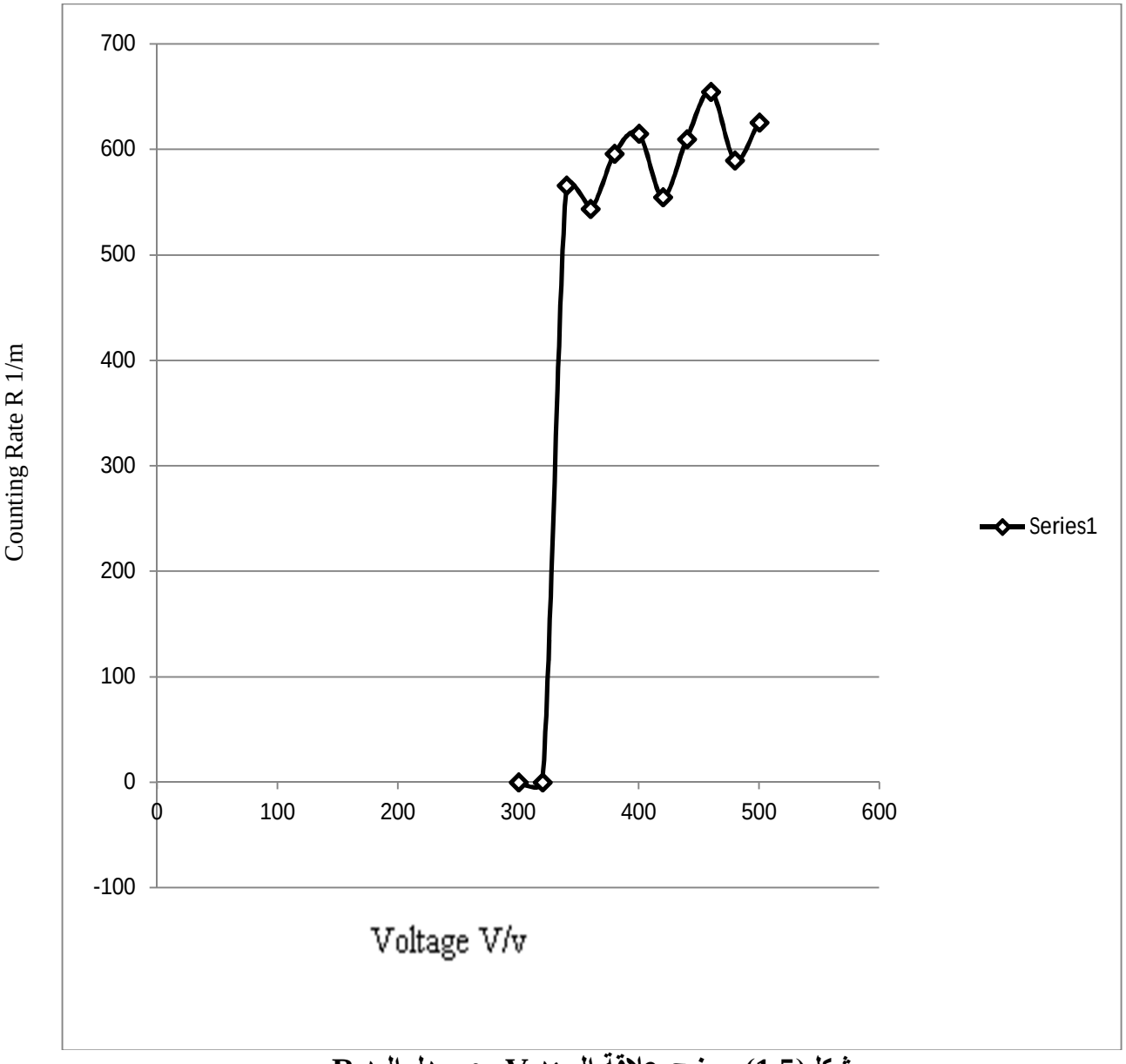
3.5 الطريقة:

وضع المصدر على بعد 10 mm من نافذة أنبوبة جايجر ، ثم حركت فولتية العداد حتى يقوم بالتسجيل ، واختيرت الفترة الزمنية دقيقة واحدة ، ثم رفع الجهد بمقدارv 20 في كل مرة ، حتى أخذت عدة قراءات ، ثم دونت النتائج في جدول النتائج ورسمت العلاقة بين الفولتية وعدد النبضات في الدقيقة.

4.5 النتائج:

جدول (1.5) يوضح علاقة الجهد V مع معدل العد R

v±1 volt	R±1 min
300	0
320	0
340	566
360	544
380	596
400	615
420	555
440	610
460	655
480	590
500	6



شكل(1.5) يوضح علاقة الجهد V مع معدل العد R

5. 5 المناقشة:

بالنظر للشكل (5. 1) والجدول (5. 1) يتضح أن حساسية الجهاز تعتمد على جهد عداد جايجر المسلط ، حيث يوضح الشكل والجدول أن أقل جهد يسمح للجهاز بالعد يقع في المدى من 320 v إلى 340 v ، ويتضح أن حساسة الجهاز تزيد كلما زاد الجهد المسلط.

وهذه العلاقة بين الحساسية والجهد يمكن فهمها على ضوء نظرية التأين ، حيث تؤدي زيادة الجهد لزيادة طاقة حركة الأيونات والإلكترونات الحرة ، مما يؤدي لزيادة عدد الذرات التي تصطدم بها ، فتزيد بذلك عدد الذرات المتأينة وعدد الإلكترونات الحرة التي تنجذب نحو المهبط والمصعد ، فتزيد بذلك شدة التيار ومن ثم معدل العد.

6.5 الاستنتاج:

نسبةً لأهمية آلة التصوير الجامي، لذا يجب معرفة العوامل التي تؤثر على حساسية الجهاز، ويتضح من التجربة أن حساسية الجهاز لها علاقة بالجهد وأنها تزيد بزيادته.

7.5 التوصيات:

يجب تزويد آلة التصوير الجامي بأجهزة كمبيوتر ذات كفاءة عالية وبرامج متقدمة للحصول على صور توضح الخصائص المختلفة للعناصر المشعة.

المراجـع

1. سهام الطرابيشي ، **الفيزياء الطبية** ، (دمشق: مكتبة دمشق ، 1991م).
2. عذاب طاهر الكناني ، **الفيزياء النووية والطبية** ، (عمان: دار الفجر للنشر والتوزيع ، 2009م).
3. Dr. C. GurudasNayak, Dr. Rajesh Kumar and Mr. Michal Heichel, A study of a Gamma Camera in Nuclear Medicine, (international Journal of advanced research in computer engineering & technology, 2013.
4. سمير بن سليمان أحمد ، الاشعاع والعلاج الاشعاعي ، (الرياض: جامعة أم القرى ، 1424هـ).
5. محمد فاروق أحمد، أ. د. أحمد بن محمد السريع ، **مبادئ الاشعاعات المؤينة والوقاية منها**، (الرياض: جامعة الملك سعود ، 2007م).
6. فخري إسماعيل حسن ، **مقدمة في الفيزياء الحديثة** ، (الرياض: دار المريخ للنشر ، 1993م).
7. بهاء الدين حسين معروف ، الوقاية من الاشعاعات المؤينة ، (بغداد: منظمة الطاقة الذرية ، 1989م).
8. معن صفاء المعارف ، **فيزياء وبيولوجيا الوقاية من الاشعاع** ، (عمان: د. ن، 2006م).
9. غازي ياسين القيسي ، **أساسيات الفيزياء الحديثة** ، (عمان: دار المسيرة للنشر والتوزيع ، 2006م).
10. محمد قاسم محمد الفخار ، د. فوزي عبد الكريم ، **الفيزياء النووية والاشعاعية** ، (طرابلس: منشورات جامعة عمر المختار ، 2006م).
11. محمد فاروق ، أحمد السريع ، **أسس الفيزياء الاشعاعية** ، (الرياض: جامعة الملك سعود ، 1998م).

12. PerrysPrawls, Jr. Ph., D., Physical principle of medical imaging, 1993.