

الفصل الثالث
كواشف الاشعاع المؤين

٣ - ١ الكشف عن الإشعاعات المؤينة

يعتمد الكشف عن الإشعاعات على حدوث ظاهرة التأين أو التهيج وإثارة ذرات أو جزيئات مادة الكاشف عند سقوط الإشعاعات عليها . فمثلاً عند سقوط جسيمات ألفا وبيتا على المادة يتكون من عدد من الأزواج الأيونية أو موجات كهرومغناطيسية في المادة ويتناسب عدد هذه الأزواج الأيونية طردياً مع طاقة الجسيمات الساقطة على مادة الكاشف. عند تجمع الإلكترونات أو الأيونات الناتجة عن التأين وقياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن هذه الأزواج (أو التيار الكهربائي الناتج) يمكن معرفة عدد الجسيمات الساقطة وطاقتها . وتستخدم أنواع متعددة من الكاشف تتوقف على نوع الإشعاع الساقط (ألفا - بيتا - جاما) ، شدة الإشعاع ، طاقة الإشعاع ، وشكل المصدر المشع نفسه.

تأثيرات الإشعاع على المادة تؤدي الى تأثيرات دائمية مثل اسوداد الأفلام.وتأثيرات عابرة كما في أجهزة المسح الإشعاعي المحمولة.

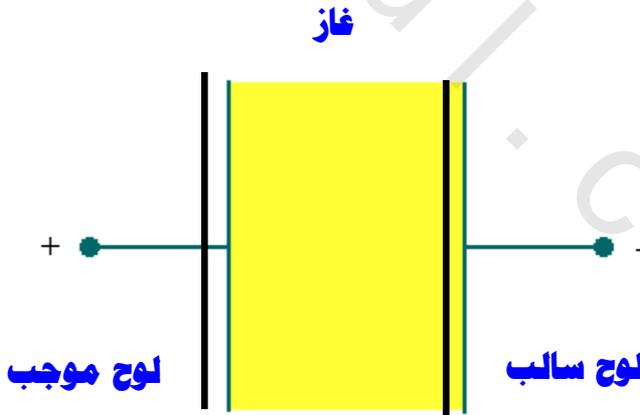
يتكون اي كاشف إشعاعي من المادة التي يتفاعل معها الإشعاع (غاز ،مادة وميضية ،مادة شبة موصلة) والتي تسمى بالحجم الحساس للعداد.تحيط بالحجم الحساس المكونات التركيبية والتي تتضمن الغلاف ونافذة الكاشف الرقيقة والجزء الأخير من مكونات الكاشف هي دوائر نقل الإشارة الالكترونية. الكواشف اجهزة تستجيب للإشعاع المؤين بتوليدها نبضة كهربائية تتولد نتيجة لانتقال طاقة الالكترون الى الحجم الحساس للعداد وتسمى النسبة بين عدد العدادات في الثانية(cps) الى عدد الانحلال في الثانية (dps) بكفاءةالعداد = cps\ dps

وتقسم الكواشف الى ثلاثة انواع هي الكواشف الغازية ،الوميضية ،والكواشف المواد شبة الموصلة.

٣ - ٢ الكواشف الغازية

كما لاحظنا سابقا فان الإشعاع يتفاعل مع ذرات الغاز في هذه الكواشف ويسبب ذلك تنتج الأيونات حسب الظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومبتون. ونتيجة للتأين يتولد زوج من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة. يتكون الكاشف الغازي من وعاء يحتوي على لوحين متوازيين احدهما يمثل الكاثود والأخر الانود وبينهما غاز حامل مثل الاركون او الزينون . ان سبب استخدام غاز حامل لكي لا يؤثر التفاعل الذي يحصل بعد التأين على صفات الغاز وبالتالي لا تتغير خواص الكاشف . شكل (٣ - ١). الكشف عن إنتاج الأزواج الأيونية في الغاز هو أساس عمل الكواشف الغازية حيث ان استعمال مجال كهربائي بين لوح الكاشف ناتج عن تطبيق فولتية مستمرة بين لوح الكاشف يؤدي الى جمع الالكترونات على القطب الكهربائي الموجب و جمع الأيونات الموجبة نحو القطب الكهربائي السالب إذا كانت الفولتية المطبقة كافية لفصل الالكترونات عن الأيونات الموجبة.

شكل (٣ - ١) الكاشف الغازي ذو اللوحين المتوازيين

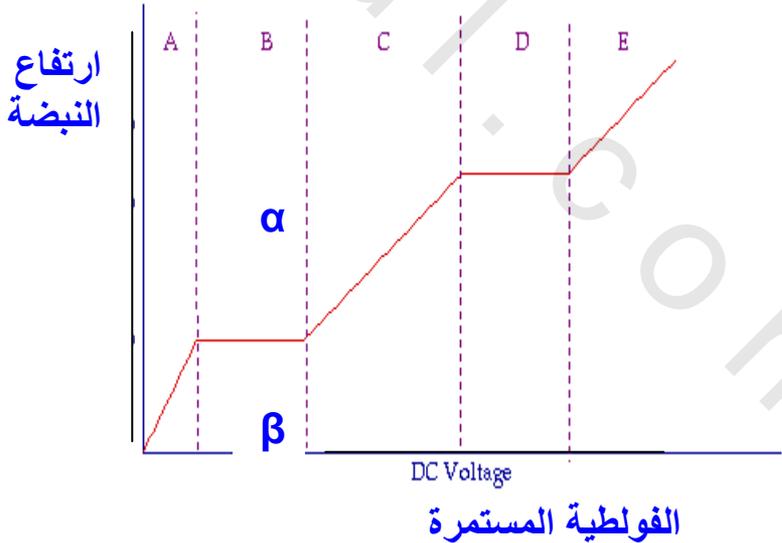


إذا كانت الفولطية قليلة يحصل إعادة الاتحاد بين الايونات المختلفة الشحنة لتكوين ذرة غاز وفي حالة الفولطية العالية يحصل تفريغ كهربائي بين القطبين ويعمل الكاشف وكأنه مصباح نيون.

لذلك يجب ان تختار الفولطية المناسبة لفصل الايونات عن بعضها وتسمى فولطية التشغيل .

لمعرفة تأثير الفولطية المستمرة على مقدار ارتفاع النبضة المتولدة على طرفي المقاومة نأخذ كاشف غازي وتطبق فولطية مستمرة بين لوح الكاشف نغير مقدار الفولطية ونرسم خط بياني محورة العمودي يمثل ارتفاع النبضة بمقياس لوغاريتمي والمحور الافقي يمثل الفولطية المستمرة المطبقة على لوح الكاشف .
النتائج التجريبية يمكن أن تقسم الخط البياني إلى خمس مناطق شكل (٢ - ١٠) هي :

شكل (٢- ٣) الخط البياني بين الفولطية وارتفاع النبضة للعدادات الغازية



١ - منطقة إعادة الاتحاد A :

عندما تكون الفولطية منخفضة نسبياً، يحدث إعادة الاتحاد بين مجموعة كبيرة من الأيونات الموجبة والألكترونات. كنتيجة لذلك فإن معظم الأزواج الأيونية يعاد اتحادها ويكون ارتفاع نبضة الفولطية منخفض نسبياً. وبزيادة الفولطية تقل إعادة الاتحاد ويزيد ارتفاع النبضة بشكل سريع.

٢ - منطقة التأين B :

عند رفع الفولطية بما فيه الكفاية لاتحصل إعادة الاتحاد بين الأيونات الموجبة والالكترونات وإنما تتجمع جميع الألكترونات على القطب الموجب للكاشف (الانود) وتسمى هذه المنطقة بمنطقة الإشباع ويسمى الكاشف الذي يشتغل في هذه المنطقة بكاشف او عداد حجرة التأين.

٣ - منطقة التناسب C:

في هذه المنطقة تكون الفولطية عالية بما فيه الكفاية حيث تعجل في هذه الألكترونات عندما تقترب من السلك المركزي وتكون طاقتها كافية لكي تصطدم مع الكترونات ذرات الغاز لإنتاج أزواج أيونية جديدة. وهكذا يزداد عدد الألكترونات المتجمعة على الانود بشكل كبير وبمقدار يتناسب مع زيادة الفولطية ويسمى ذلك بمضاعفة الأيونات (ion multiplications). تسمى المنطقة بمنطقة التناسب ويسمى الكاشف الذي يشتغل في هذه المنطقة بالعداد التناسبي.

٤ - منطقة كايكر مولر D:

عندما تزداد الفولطية كثيراً فإن معظم الجسيمات المشحونة التي ولدها الأشعاع تكون لها طاقة كافية لتأين جزيئات الغاز مكونة أيونات ثانوية لها من الطاقة ما يكفي لتوليد أيونات ثالثة كذلك لها من الطاقة ما يكفي لتوليد أيونات رابعة..... وهكذا أي يحصل تأين لمعظم ذرات الغاز فيحصل ما يسمى بالانهيار الكتروني. تتجه الالكترونات نحو الانود وتنتشر الغيمة الالكترونية على طول السلك المركزي. هذه المنطقة تدعى منطقة كايكر مولر، والكاشف المستخدم عند هذه الفولطية يسمى عداد كايكر.

٥ - منطقة التفريغ E

وعند زيادة الفولطية بشكل كبير جداً يحصل تفريغ كامل للغاز وبذلك لايمكنها كشف الأشعاع المؤين المنطقة (E).

١ - حجرة التأين :

تتكون حجرة التأين من وعاء مملوء بغاز خامل يحتوي لوحين متوازيين يسلط بينهما فرق جهد مستمر قليل نسبيا . عند سقوط الاشعاع المؤين على الغاز فأنة يتاين وتتولد الالكترونات والايونات الموجبة والتي يعاد اتحادها فتعود ذرة غاز جديدة. وعند زيادة الفولطية بين لוחي الحجرة تتفصل الالكترونات عن الايونات وتتجه نحو الاتود فيزداد التيار بشكل سريع بزيادة الفولطية حتى تصل حالة الاشعاع أي ان الانود يسحب جميع الالكترونات التي تولدت نتيجة لسقوط الشعاع على الحجم لحساس للعداد. تكون الاشارة الخارجة ضعيفة الشدة لذلك نستعمل مضخم حساس جدا و مجموعة من الدوائر الإلكترونية التي تتصل بحجرة التأين . يتم قياس التيار الخارج من حجرة التأين باستعمال الكتروميتر حساس جدا للتيارات الواطئة. ولمعرفة ارتفاع تلك النبضة نفترض سقوط جسيمات الفا على الغاز وقد وجد بان توليد زوج ايوني واحد يتطلب طاقة مقدارها ٣٠ eV. نفترض بان طاقة جسيمات الفا والتي تمتص كليا في الغاز يساوي 1MeV فان عدد الأزواج الايونية المتولدة (n) يساوي

$$n = \frac{1 \text{ MeV}}{30 \times 10^{-6} \text{ eV}}$$

$$= \frac{10^6}{30} \times 3.3 = 10^4 \times 3.3$$

الشحنة الكهربائية المتكونة في الغاز $e \cdot n = Q$

$$= 3.3 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19} = 5.28 \times 10^{-15} \text{ كولوم}$$

$$Q = 5 \times 10^{-15} \text{ كولوم}$$

إذا افترضنا ان حجرة التأين بشكل متسعة سعتها ١٠٠ بيكو فراد (pF) فان

ارتفاع نبضة الفولطية التي ولدتها V

$$V = Q/C = \frac{5 \times 10^{-15}}{100 \times 10^{-12}} = 5 \times 10^{-5} \text{ فولط}$$

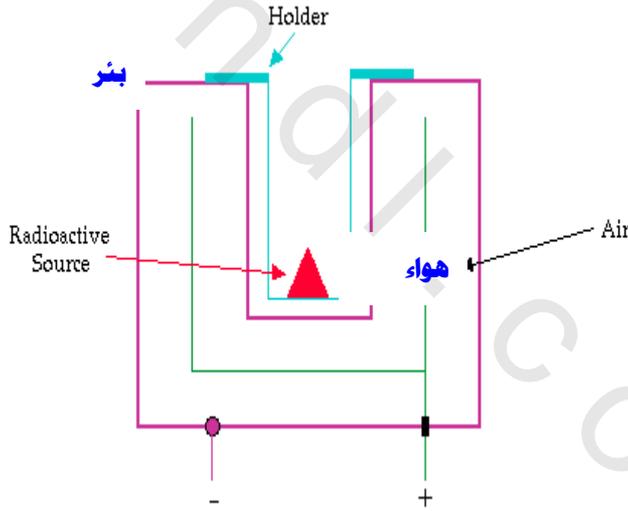
$$= 50 \text{ مايكرو فولط}$$

من تطبيقات حجرة التآين:

١ - قياس التعرض الإشعاعي وهي كمية الشحنة الكهربائية المتولدة في وحدة كتلة الهواء. غرفة التآين المملوءة بالهواء تستعمل لمثل هذا القياس.

٢ - قياس النشاط الإشعاعي. استعملت غرفة التآين التي تكون بشكل حفرة أو بئر لكي توضع المادة المشعة داخل البئر شكل (٢ - ١١) وبذلك يمكن أن يكتشف عن معظم الاشعاع المنبعث من المادة المشعة. تستخدم هذه الحجرة على نحو واسع في الطب النووي لغرض تعير (Calibrate) النظائر المشعة بحيث ان التيار الكهربائي المتولد بمثل هذا الكاشف يدرج لكي يعطي القراءة في وحدات النشاط الإشعاعي (mCi أو MBq). أكثر أقسام الطب النووي يتوفر فيها على الأقل إحدى هذه الكواشف لكي تقيس النشاط الإشعاعي للمادة قبل اعطائها للمرضى.

شكل (٣ - ٣) حجرة تآين بشكل حفرة أو بئر



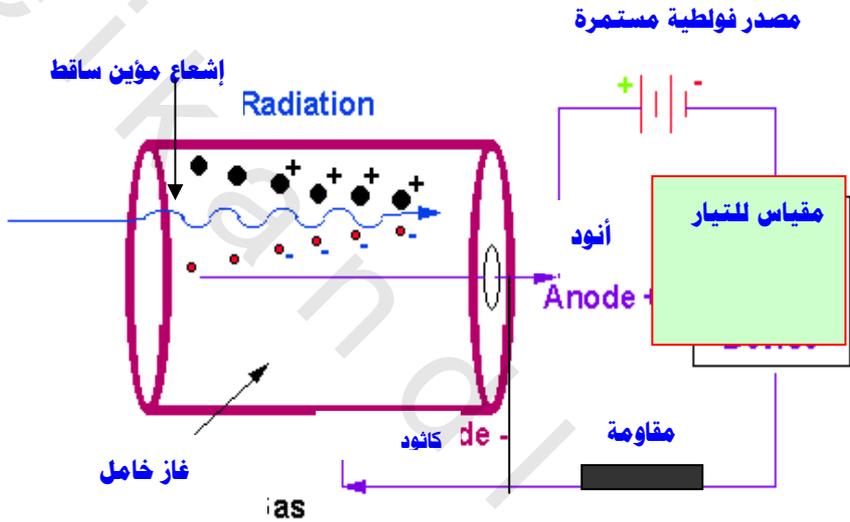
مصدر مشع

١ - عداد كاير

تغل عداد كاير في الفولطيات العالية نسبياً والتي تتراوح بين ٣٠٠-٤٠٠ فولط والتي تسمى فولطية التشغيل. تمتاز هذه العدادات بكونها تكشف عن الإشعاع فقط

ولكنها لأتفرق بين الانواع المختلفة للإشعاع. ويلاحظ من الشكل (٣ - ٢) بان ارتفاع النبضة لجسيمات α اكبر منها لجسيمات بيتا β و اقل ارتفاع يكون لأشعة جاما لان التأين النوعي لجسيمات الفا اكبر منه لجسيمات بيتا وأشعة جاما على التوالي. لقد استعويض عن الاقطاب الكهربائية المتوازية بحجرة أسطوانية الشكل لأنها اكثر كفاءة للقياس . كما في الشكل (٣ - ٤)

الشكل (٣ - ٤) الكاشف الغازي ذو الشكل الاسطواني



القطب الكهربائي الموجب عبارة عن سلك رفيع يمر عبر مركز الأسطوانة والقطب الكهربائي السالب هو جدار الأسطوانة. من حيث المبدأ يمكن تصنيع مثل هذا الكاشف بأخذ أنبوب معدني، يمر في مركزه سلك معدني و يملأ بغاز خامل وتغلق نهايتي الأنبوب، الكواشف الفعلية اكثر تعقيدا من ذلك. تطبق الفولطية المستمرة عن طريق بطارية أو عن طريق جهاز فولطية يتصل بمقاومة خارجية . عند دخول اشعة جاما داخل الكاشف. تنتج أزواج أيونية في الغاز بعدها تتجه الأيونات الموجبة

إلى الجدار الخارجي للأسطوانة والالكترونيات تتجه إلى السلك المركزي. الألكترونيات تمر خلال المقاومة مكونة تيار كهربائي وحسب قانون اوم تتولد فولطية بين طرفي المقاومة، هذه الفولطية تُضخم بمضخم لتضخيم الفولطية. يتضمن الكاشف مقياس (rate meter) لقياس نبضات الفولطية لوحدة الزمن (معدل العد - Rate Count) او اعداد (Scalar) الذي يحسب عدد نبضات الفولطية المتولدة في فترة زمنية معينة (العد - Count) .

بعد امتصاص الإشعاع في الغاز تحصل ظاهرة انهيار الألكترونيات وتكون نبضات الفولطية المتولدة بهذا الكاشف كبير نسبياً حيث أن الغاز يعمل كمضخم للشحنات الكهربائية المتولدة.

من أهم مميزات هذه الكواشف:

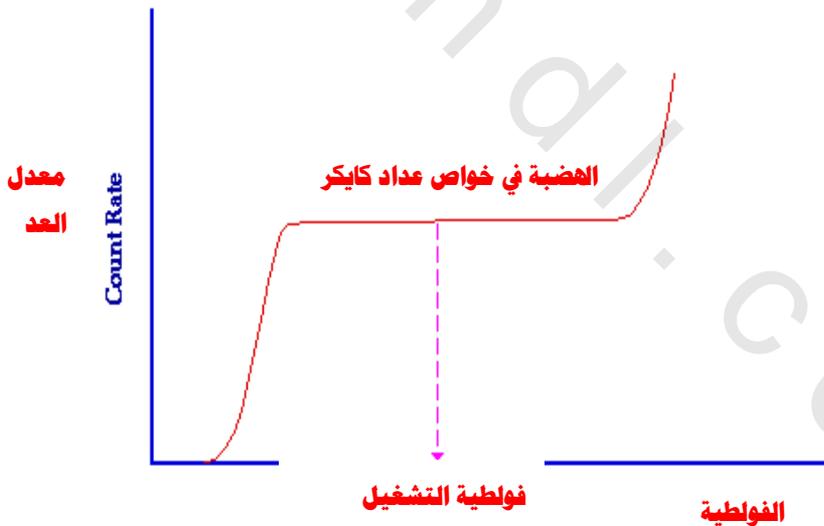
- ١ - عدم الحاجة إلى مضخم حساس (كما كان الحالة حجر التآين) لهذا الكاشف بسبب تكبير الغاز فتكون الإشارة كبيرة .
- ٢ - يجب أن تتوقف عملية انهيار الإلكترون لكي يعمل الكاشف كما ينبغي. فعندما تسقط الدقائق المشعة او الفوتونات فان ذرات الغاز تمتصها ويحص تفرغ كامل للغاز وبذلك يعجز الغاز عن الكشف عن الإشعاعات التالية التي تدخل الكاشف. لذلك لابد من وجود وسائل لإيقاف انهيار الإلكترون وتعالج بعملية تسمى الاطفاء (Quenching). وأحد وسائل الإطفاء تقليل الفولطية المستمرة إلكترونياً بعد كل انهيار. والطريقة الثانية الأكثر استعمالاً هي إضافة كمية صغيرة من غاز مطفئ إلى الغاز الخامل، مثل غاز الكحول الأثيلي. الكحول الأثيلي بشكل بخار يتكون من جزيئات ذات طاقة كبيرة تمتص طاقة الالكترونيات وبذلك لأتصرف في عملية انهيار الإلكترون. اي ان جزيئات الغاز المطفئ الكبيرة تتصرف مثل الكابح لظاهرة الانهيار.

٣- بصرف النظر عن نوع الغاز المطفئ المستعمل في الكاشف فإن الكاشف لا يسجل امتصاص الإشعاع لفترة زمنية صغيرة. هذه الفترة الزمنية تدعى بزمن الخمود (Dead Time). وبالرغم من أن زمن الخمود قصيرة نسبياً (٢٠٠-٤٠٠ μ s) لكنه يقلل من كمية الإشعاع الحقيقية. و كنتيجة لذلك نحصل على قراءة بهذا الكاشف أقل من القراءة الحقيقية. يُمكن أن تحسب القراءة الحقيقية للكاشف باستعمال المعادلة التالية:

القراءة الحقيقية = قراءة الكاشف \ (١- زمن الخمود) .

٤- الخط البياني لعداد كايكر يوضح وجود حالة الإشباع التي عندها يبقى معدل العد ثابتاً بالرغم من زيادة الفولطية وتسمى هذه المنطقة بالهضبة (Plateau). ومنتصف الهضبة يمثل فولطية التشغيل للكاشف والتي تبين بان معدل العد لا يتأثر بتذبذب فولطية التشغيل للكاشف. شكل (٣- ٥).

شكل (٣- ٥) تعيين فولطية التشغيل لعداد كايكر



٣-٣ الكواشف الوميضية: (Scintillation Detectors)

كواشف الإشعاع الوميضية من أول الكواشف التي استخدمت للكشف عن الإشعاعات المؤينة . فقد لاحظ رونتجن عند اكتشاف الأشعة السينية في ١٨٩٥ وبطريق الصدفة انبعاث وميض عند سقوط الالكترونات المعجلة داخل أنابيب مفرغة على بلورات سيانيد البوتاسيوم، واختفاء الوميض عند فصل الأنابيب عن المصدر الكهربائي. أبسط طرق الكشف عن أشعة جاما هو الكواشف الوميضية وتمتاز هذه الكواشف بكفاءتها العالية نسبة للكواشف الغازية وبصغر حجمها لكثافتها العالية نسبة للعدادات الغازية، حيث تستجيب المواد الوميضية للإشعاع المؤين الساقط عليها عبر تفاعلها مع الإشعاع ويتحول جزء صغير من الطاقة الحركية للإشعاع إلى طاقة ضوئية ويتبدد الجزء المتبقي من طاقة الإشعاع على شكل اهتزازات للبلورة أو في صورة حرارة . وتعتمد الاستجابة الوميضية لمادة البلورة على نوع الإشعاع الساقط ونوع المادة الوميضية ذاتها وارتفاع النبضة يتناسب مع الطاقة. يعتمد أساس عملها على تأين أو تهيج ذرات بعض المواد عند سقوط الإشعاعات المؤينة كالجسيمات المشحونة (ألفا) و (بيتا) وإشعاعات جاما ثم عودتها إلى حاله الاستقرار وتبعث الطاقة الفائضة بشكل ومضات ضوئية. تعرف مثل هذه المواد بالمواد الوميضية وللكشف عن الإشعاعات المؤينة باستخدام المواد الوميضية يتم اختيار المواد الوميضية التي تبعث وميضها خلال زمن قصير جدا لا يتجاوز (مايكروثانية واحدة) ،
تقسم المواد الوميضية الى عدة انواع :

أ - المواد الوميضية الصلبة غير العضوية:

تعتبر المواد الوميضية غير العضوية الصلبة أفضل المواد من حيث الاستجابة الخطية وهي الأكثر ملائمة للكشف عن الإشعاع المؤين. حيث يمكن الكشف عن أشعة جاما باستخدام بلورة أيوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم (NaI (TI) ، ويرجع ذلك إلى كبر كثافتها وكبر عددها الذرى مما يزيد كفاءة الكشف وتصل كفاءة

الكواشف الوميضية بالنسبة لأشعة جاما إلى ١٠٠ مرة أكبر من عدادات كايكر وتعتمد هذه الكفاءة على طاقة فوتون جاما الساقط وكذلك على أبعاد البلورة الوميضية . عند سقوط فوتونات أشعة جاما على البلورة يتحرر عدد من الإلكترونات وهذه الإلكترونات سريعة وتحدث تأين لمادة الكاشف ولكي تعود الى حالتها المستقرة تبعث ومضات فوتونات تتناسب مع كمية وطاقة فوتونات جاما الساقطة عليها. أما بالنسبة لجسيمات ألفا فتستخدم طبقة رقيقة من بلورة كبريتيد الخارصين الموضوعة في حجرة مفرغة من الهواء .

أما بالنسبة للكشف عن النيوترونات فتستخدم بلورة وميضية تحتوى على خليط من كبريتيد الخارصين والبارافين الذي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين التي تهدا النيوترونات السريعة نتيجة اصطدام النيوترون بالهيدروجين ينطلق البروتون الذى يتم تسجيله فى الكاشف.

اما الاشعة السينية فيتم الكشف عنها باستخدام بلورات السيزيوم المنشط بالصوديوم
CsI (Na)

ب - العدادات الوميضية السائلة Liquid Scintillation Counters :

توجد مواد وميضية سائلة سائل مثل التلوين فائدة مثل هذه المادة الوميضية امكانية وضعها بتماس مباشر بالمادة المشعة عن طريق خلطها مع النموذج المراد فحصه . لقياس النشاط الاشعاعي للجسيمات ذات الطاقة المنخفضة في عينة معينة توضع مع العينة المراد عددها مذيب عضوي من مادة متبلورة حيث تحيط بنويات الذرات المشعة أو الجزيئات بالكامل وإذا كانت العينة غير ذائبة فى المذيب العضوى يمكن وضعها فى معلق متمائل ، وهناك العديد من المواد البلورية مثل PPO (diphenylakazol) مع التلوين أو الداىوكسين كمذيب. تبنى فكرة العدادات الوميضية السائلة على أن الجسيمات المتأينة من المواد المشعة تحدث إثارة وتأيين جزيئات المذيب التي بدورها تنقل الطاقة إلى جزيئات (PPO) التي تكون ومضات

ضوئية نتيجة لاكتسابها هذه الطاقة وإثارتها ثم عودتها إلى المستوى الارضي (الاستقرار) و عند انبعاث هذه الومضات فإنها تصل إلى أنبوبة المضاعف الضوئي. تُنَوَّبُ العينات أو تعلق في سائل يسمى "كوكتيل الذي يحتوي على مذيب اورماتيكي مثل البنزين والتلويين . وقد استخدمت مؤخرا مذيبات أقل خطر من المذيب الاورماتيكي. تنتقل جسيمات بيتا المنبعثة من العينة طاقتها إلى جزيئات المذيب والذي يؤدي الى تهيجها ولكي تعود الجزيئات المتهيجة الى الاستقرار فإنها تبعث الضوء. بهذه الطريقة فان كل جسيم من دقائق بيتا يؤدي إلى بعث نبضة من الضوء. في أغلب الأحيان تحتوي الكوكتيلات الوميضية بعض المواد المضافة التي تقوم بإزاحة الطول الموجي للضوء المنبعث لكشفها بسهولة أكثر.

توضع المادة المشعة والكوكتيل في قنينة شفافة أو نصف شفافة صغيرة من الزجاج أو البلاستيك في داخل العداد الوميضي السائل. وجهاز العداد الوميضي السائل له استخدام واسع في قياس النشاط الإشعاعي لجسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة مثل C^{14} و H^3 . وكذلك جسيمات بيتا ذات الطاقة العالية مثل P^{32} . كفاءة القياس لهذه العدادات يتراوح بين ٣٠% للترتيوم ذي الطاقة الواطئة لجسيمات بيتا إلى ١٠٠% تقريبا للفسفور -32 ، ذي الطاقة العالية لجسيمات بيتا. بعض العينات تكون ملونة وعكرة وهذا يؤدي لعدم دقة عملية القياس (مثل نماذج الادرار) لذلك يضاف لها بعض مركبات الكلور لقصر اللون لكي لا يحصل تدخل في القياس والذي يعرف بالاطفاء.

بعض النظائر الباعثة لجسيمات بيتا ذات الطاقة العالية مثل P^{32} تقاس في العداد الوميضي السائل بدون استخدام الكوكتيل. بتطبيق التقنية، المعروفة باسم تقانة شيرنكوف (Cerenkov). يُكشَفُ عن اشعاعات شيرنكوف مباشرة بالمضخم الضوئي وغالبا ما تستعمل تقانة شيرنكوف للقياسات التقريبية السريعة، حيث يمكن الاعتماد عليها عند الاختلاف الناتج عن الشكل الهندسي للعينة. وإذا كانت جسيمات

بيتا ذات طاقة عالية جدا فتم قياسها بدون استخدام العدادات الوميطية السائلة ،
ويستخدم عدادات شيرنكوف (Cerenkov)، وفيها تذاب العينة المشعة فى الماء
ويضع فيها محلول شيرنكوف وهذه الجزيئات المتأينة تنقل خلال الماء بسرعة أكبر
من سرعة الضوء محدثة ومضة ضوئية تسمى ضوء شيرنكوف.

ويتركب جهاز العداد ألوميضي السائل من :

١- أنبوبتان للمضاعف الضوئى تسجل النبضات من جهتي القنينة ويتصلان بدائرة
التزامن (Coincidence circuit) وهى مصممة على استلام وإخراج نبضة واحدة
من كل من أنبوتى المضاعف الضوئى اما نبضات الخلفية الاشعاعية او النبضات
الناجمة من الضوضاء الإلكترونية فسوف ترفضها دائرة التزامن والكاشف وهذه
الدائرة غالباً ما تبرد لكى تقلل من الضوضاء الناشئة عن الحرارة المرتفعة فى
أنبوتى المضاعف الضوئى . شكل (٣ - ٦)

شكل (٣ - ٦) العداد ألوميضي السائل



٢ - وحدة تمييز الحدود level discriminator:

هي دائرة تسمح بمرور النبضات التى حجمها أو طاقتها أعلى من طاقة معينة (E)
وترفض النبضات ذات الطاقة الأقل . تمييز الحدود السفلى فهو يسمح بمرور
النبضات التى حجمها أو طاقتها أقل من E ويرفض الطاقات الأعلى وتقوم هذه

الوحدات بالعمل على تجانس النبضات طبقاً لأسس معينة . تمرر هذه النبضات على جهاز القياس (Scalar) الذى يحول النبضات إلى عدات يمكن حسابها كدالة للزمن . ومن أهم مساوئ العدادات الوميضية هي قلة مقدرتها فى الفصل بين النويدات المشعة المختلفة فى العينة وتساء هذه المقدرة كلما ازداد حجم بلورة الكاشف والذى يفضل استخدامه كلما ضعف تركيز التلوث .

ت -العدادات الوميضية العضوية:

تتوفر بعض المواد الضوئية الوميضية بشكل بلاستيك polystyrene والتي يمكن تصنيعها بأي شكل وحجم .

مكونات منظومة الكواشف الوميضية:

تتكون منظومة العداد الوميضي من الاجزاء التالية :

١ - البلورة الوميضية.

تكون البلورة بشكل صلب ،مسحوق ،سائل، وبلاستيك وجميعها تعمل بنفس الاساس حيث ان الاشعاع يؤين او يهيج هذه البلورات فتكون في حالة قلقة ولكي تعود الى وضع الاستقرار فانها تبعث وميضاً بشكل فوتونات مرئية وغير مرئية. البلورة الوميضية (NaI (TI يمكن ان تتلف لذلك يحيط بها غلاف من الالمنيوم. يصمم لكي يعكس أي ضوء يسقط عليه نحو الاسفل باتجاه المضاعف الضوئي..تتصل البلورة مباشرة الى المضاعف الضوئي

٢ - المضاعف الضوئي (Photomultiplier)

منظومة الغرض منها زيادة عدد الالكترونات المتولدة نتيجة لتفاعل الاشعاع مع المادة الوميضية لإمكانية قياسها بسهولة.

المضاعف الضوئي يتكون من كاثود ضوئي وظيفته تحويل الومضات الضوئية التي أنتجت نتيجة لتوهين الاشعاع داخل البلورة الى الكترونات . يتم تجميع وتركيز الالكترونات بواسطة شبكة (Grid) وإسقاطها على قطب موجب يسمى الداينود

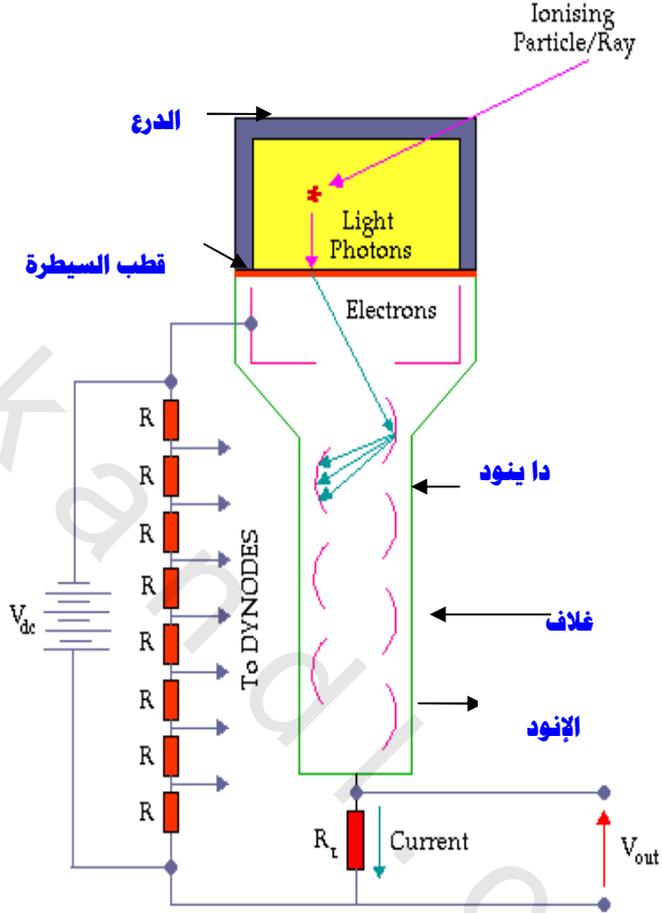
(dynode). يصنع الدايونود من سبيكة خاصة والتي تبعث الالكترونات عند قصفها بالالكترونات أي ان الالكترونات المنبعثة أكثر من الكترونات الممتصة. عادة مايبعث الدايونود بين ٢ - ٥ الكترون عند سقوط الكترون واحد. يوجد عدد من الدايونودات تستعمل لمضاعفة وتكبير أالكترونات الضوئية التي تتبعث من سطح الدايونود فمثلاً عند سقوط إلكترون واحد على الدايونود فأنة يتضاعف بشكل كبير ونظرا لوجود العديد من الدايونودات فان الإلكترون الواحد يتضاعف إلى ملايين أالكترونات والتي تخرج على هيئة نبضات كهربائية تتناسب مع طاقة أشعة جاما الساقطة على البلورة والتي تجمع أخيراً على القطب الموجب (الانود) . ويتم تكبير النبضة خطياً بواسطة المضخم (Amplifier) حيث يتصل إلى محلل سعة النبضات ، تخزن النبضات وتصنف تبعاً لحجمها ثم تخزن في جزء خاص بالذاكرة الإلكترونية وبعد زمن معين تجمع القراءة المسجلة في فترة زمنية معينة ،

يحتوي المضاعف الضوئي على جهاز للفولطية العالية المستمرة (V_{dc}) والتي يمكن أن يكون بحدود ١,٠٠٠ فولت بين طرفيها سلسلة من مجزئ المقاومات والتي يشمل صف من المقاومات، كل منها له نفس المقاومة R . وظيفة هذه السلسلة من المقاومات أن تقسم الفولطية العالية المستمرة (V_{dc}) إلى فولطيات متساوية تجهز إلى الدايونودات شكل (٣-٧) .

كنتيجة لذلك تزداد الفولطيات بأجزاء متساوية وتطبق على صف الدايونودات. كذلك تحتوي دائرة المضاعف الضوئي على حمل خارجي R_L يستعمل لتوليد فولطية خارجة V_{out} .

تسري هذه الألكترونات خلال مقاومة الحمل الخارجي بشكل تيار كهربائي وتكون فولطية خارجة V_{out} طبقاً لقانون اوم الذي يقاس بمجموعة من الدوائر الإلكترونية . الميزة المهمة للكاشف الوميضي هو ان الفولطية الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقة الإشعاع المترسبة في البلورة.

شكل (٣-٧) مكونات المضاعف الضوئي



ويمكن بسهولة حساب الشحنة المتجمعة على الأنود والتي تعطي فكرة أفضل على أداء الكاشف الوميضي.

الشحنة المتجمعة على الأنود يمكن كتابتها حسب المعادلة التالية

$$Q = mf \epsilon R^n e$$

m : عدد الفوتونات المتولدة في البلورة

f : الكفاءة البصرية للبلورة، كفاءة البلورة لإرسال الضوء

£: الكفاءة الكمية للكاثود الضوئي (كفاءة للكاثود الضوئي لتحويل الفوتونات الضوئية إلى الإلكترونات).

n: عدد الدايونودات .

R: عامل المضاعفة للدايونودات. (عددُ الألكتروناتِ الثانوية المنبعثة من الدايونود لكل إلكترون ممتص).

e: شحنة الإلكترون.

فعلى سبيل المثال نفترض ان طاقة اشعة جاما تساوي 100 keV والتي تمتص في البلورة. و عدد الفوتونات المتولدة حوالي 1,000 لبلورة وميضية مثالية. كفاءتها البصرية ، f ، تساوي 0.5 أي ان 50 % من الضوء المتولد يصل الى الكاثود الضوئي والذي له كفاءة كمية £ مقدارها 0.15 . المضخم الضوئي المثالي يحتوي عشر دايونودات عامل المضاعفة لها يساوي 4.5 .

$$Q = mf \text{ £} R^n e \quad \text{لذلك}$$

نعوض في المعادلة اعلاة

$$Q = 100000 \times 0.5 \times 0.15 \times 4.5^{10} \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$Q = 40 \text{ pC}$$

هذه الكمية من الشحنة صغيرة جداً لذلك يجب استعمال مضخم حساس جداً للتضخيم هذه الإشارة. هذا النوع من المضخمات يدعى المضخم الاولي (pre - amplifier)

٣ - الطيف الطاقي لأشعة جاما

كما علمنا سابقا بان هناك آليتان لتفاعل الاشعاع مع المادة هما التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون. ونعلم ان التأثير الكهروضوئي يتضمن الامتصاص الكلي لطاقة اشعة جاما، بينما تأثير كومبتون يتضمن امتصاص جزئي لهذه الطاقة. ولان الفولطية الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقة الإشعاع المترسبة في البلورة لذلك نتوقع بان التأثيرات الكهروضوئية في البلور ستولد فولطية خارجة متميزة وكبيرة نسبياً، اما تأثيرات كومبتون ستؤدي إلى توليد فولطيات صغيرة .

الطريقة الاعتيادية لتوضيح هذه المعلومات من خلال الرسم البياني بين معدل العدات كدالة من لارتفاع نبضة الفولطية الناتجة و طاقة الإشعاع .شكل (٣ - ٨)

شكل (٣ - ٨) الطيف الطاقي لأشعة جاما المنبعثة من نظير ^{99m}Tc



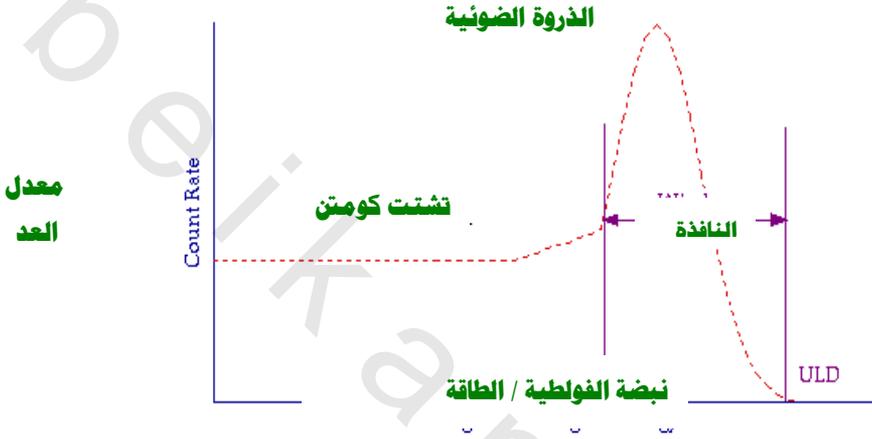
يوضح الرسم البياني الناتج عن أشعة جاما المنبعثة من نظير ^{99m}Tc الذي يبعث إشعاع جاما الاحادية الطاقة (١٤٠ keV). مثل هذه الرسوم البيانية تسمى الطيف الطاقي لأشعة جاما. الشكل يحتوي منطقتان الاولى تسمى الذروة (القمة) الضوئية (Photo peak) والثانية تسمى تشتت كومبتون. الذروة الضوئية تنتج بسبب الامتصاص الكهروضوئي لأشعة جاما المنبعثة من المصدر المشع. بعض المصدر المشعة تبعث أشعة جاما بطاقتين او اكثر. فمثلا الكوبلت - ٦٠ له ذروتين ضوئيتين الاولى عند الطاقة ١١٧٢ keV والثانية عند الطاقة ١٣٣٣ keV.

يلاحظ ان الذروة الضوئية لها تذبذب إحصائي يعتمد مقداره على نوعية الكاشف. فالكاشف الجيد ،عالي النوعية، سيكون عنده التذبذب الإحصائي قليل وتكون الذروة الضوئية ضيقة.

ويتكون الطيف كذلك من جزء آخر هو تشتت كومبتون والذي يحتوي مدى واسع من الفولطيات الناتجة التي تكون أوطأ من الذروة الضوئية. هذا الطيف مؤشر على الامتصاص الجزئي لطاقة أشعة جاما في البلورة. وتأثيرات كومبتون هو تشتت فوتونات جاما مع الكترونات التكافؤ والذي ينتج نبضات فولطية كبيرة نسبياً. ومن تأثيرات كومبتون آخري ان اشعاع جاما ينقل الطاقة الأقل الى إلكترون التكافؤ لذلك يولد نبضة فولطية صغيرة نسبياً. وبين هاتين النهايتين في مدى التشتت توجد نبضات تتضمن مدى من تحولات الطاقة لذلك تتولد ارتفاعات لنبضة الفولطية. من المهم أيضاً العلم بان الكواشف الغازية تستعمل للكشف عن وجود الإشعاع بالإضافة إلى كمية ذلك الإشعاع اما العدادات الوميضية فإنها بالإضافة لكشفها عن وجود الإشعاع وكميته تزودنا بمعلومات اضافية عن طاقة الإشعاع. هذه المعلومات الإضافية للعدادات الوميضية يمكن أن تستعمل للعديد من التطبيقات المتنوعة مثل معرفة نوع النظير المشع المجهول وكذلك لإنتاج صور الطب النووي. الذروة الضوئية لطيف طاقة اشعة جاما مهم في الطب النووي لأنها صفة مميزة للنظير المشع والتي يمكن عزلها عن طيف تشتت كومبتون باستعمال تقنية تحليل ارتفاع النبضة. هذه التقنية تتضمن نوعين من الدوائر الإلكترونية تدعى الدائرة الاولى مميز المستوى الأدنى (LLD - Lower Level Discriminator) الذي يسمح لنبضات الفولطية بالمرور خلال الدائرة عندما تكون أوطأ من النبضة المثبتة. تدعى الدائرة الثانية مميز المستوى الأعلى (ULD - Upper Level Discriminator) الذي يسمح لنبضات الفولطية بالمرور خلال الدائرة عندما تكون أعلى من النبضة المثبتة.

إن النتيجة لاستعمال كلتا الدائرتين يمثل نافذة ذات عرض متغير والتي يمكن توضع في أي مكان على طول الطيف. فعلى سبيل المثال إذا رغبتنا بالحصول على معلومات عن ذروة ضوئية معينة نثبت المميز بين بدايتها ونهايتها شكل (3-9)

شكل (٣ - ٩) . استخدام دائرة المميز



يجب ملاحظة نقطة مهمة بأن منظومة الكاشف الوميضي تستعمل بشكل واسع للحصول على المعلومات حول طاقات الإشعاع المنبعث من المصدر المشع والتي تسمى المطياف الوميضي. ويكون المطياف على نوعين:

الاول مُحلّل القناة المنفرد (Single Channel Analyzer) البسيط نسبياً والمُحلّل المتعدد القنوات الأكثر تطوراً. يحتوي مُحلّل القناة المنفرد على بلورة وميضية متصلة بمضاعف ضوئي يشتغل بفولطية عالية (H.V) إن الفولطية الناتجة تُضخّم باستخدام المضخم الاولي ثم نُضخّم وتعدل باستخدام المكبر. نبضات الفولطية بعد خروجها من المكبر تكون في شكل مناسب لمحلل ارتفاع النبضة (P.H.A.) حيث ان ناتج النبضات الخارجة منه يُمكن أن تُغذي إلى مقياس (Scalar) وعداد Ratemeter لعرض المعلومات حول جزء الطيف الذي سُمح له بالمرور خلال

(P.H.A).العداد وسيلة لعرض عدد النبضات المتولدة لوحدة الزمن. اما المقياس

فيشمل عادة عرض رقمي لعدد نبضات الفولطية الناتجة في فترة زمنية محددة.

الثاني محلل متعدد القنوات (Multi- Channel Analyzer -MCA):لإتاحة أي

دائرة كاشف أكثر تطوراً هو مشابه تماماً لمحلل القناة الوحيد باستثناء استبدال العداد

والمقياس ومحلل ارتفاع النبضة بمحلل متعدد القنوات و حاسوب. إن محلل متعدد

القناة (MCA) دائرة لها القدرة على تثبيت عدد كبير من النوافذ الفردية للنظر إلى

الطيف الكلي مرة واحدة. شكل (٣ - ١٠).

احد انواع محلل متعدد القناة يحتوي على ١٠٢٤ نافذة فردية والحاسوب الذي يحتوي

على برامج جاهزة لمعالجة المعلومات الناتجة بطرق عديدة .

تمتاز العدادات الومضية الصلبة غير العضوية (NaI (TI) بان كفاءتها عالية نسبيا

(النسبة بين معدل العد إلى معدل التحلل للذرات المشعة يعرف بكفاءة جهازا لعد)

ولكن قدرة الفصل لها قليلة. ذلك فان طيف طاقة اشعة جاما الومضي يكون مفيدا اذا

كان طيف النظير المشع يحتوي ذروة ضوئية واحدة او ذروات طاقة متباعدة لكي

لا تتداخل مع بعضها. اما اذا كان النظير المشع يحتوي على عدد من الذروات

المتقاربة فان احدهما يتراكب مع الاخر ولايكون القياس دقيقا .لذلك يفضل

الاستعاضة عن الكاشف الومضي بكواشف الحالة الصلبة.

٣-٥ كواشف الحالة الصلبة.

وهي الكواشف التي يكون حجمها الحساس من مواد شبة موصلية مثل الجرمانيوم

المشوب بالثاليوم اوالجرمانيوم عالي النقاوة .تستخدم لمعرفة نوع العناصر النزرة

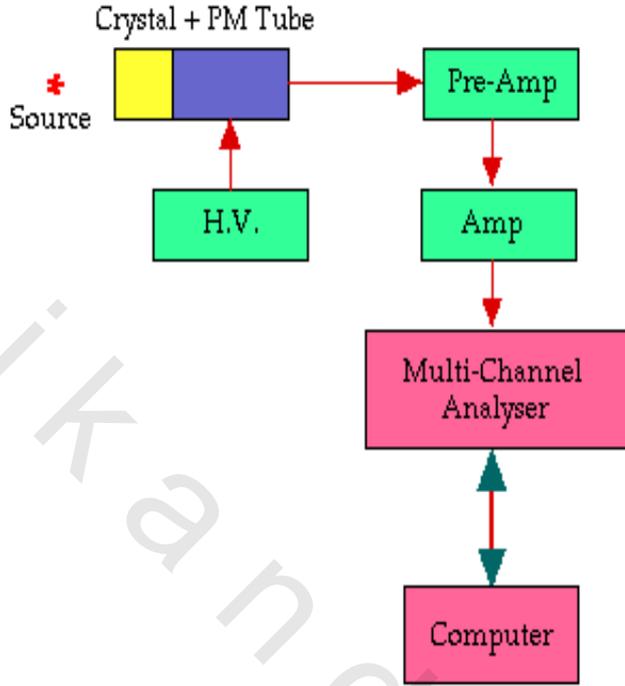
ونوعها في أي نموذج يتكون من نظائر مشعة مختلفة ويكون المطلوب الحصول

على تركيز كل نظير مشع على حده ، ويتميز هذا النوع من الكواشف بأن مقدرته

على الفصل عالية جداً لمختلف النظائر المشعة إلا أن كفاءته النسبية لتسجيل أشعة

جاما أقل في حالة الكواشف الومضية.

شكل (٣ - ١٠) منظومة الطيف الجامي ألوميضي متعدد القنوات



ويتكون الجهاز من الكاشف المبرد بالنيتروجين السائل (Cryostat) وهو عبارة عن نظام تبريد وتفرغ يحفظ الكاشف من في درجة حرارة منخفضة حتى لا تحدث ضوضاء حرارية Thermal Noises. وجهاز المحلل متعدد القنوات وأهم اجزاء المحول الرقمي (ADC) الذي يقوم بتحويل النبضات الخطية إلى أرقام تخزن في ذاكرة الكمبيوتر ذات القنوات المتعددة حيث تكون هذه القنوات معرفة ومرقمة ومرتبطة حسب طاقة هذه النبضات. ويعرض الطيف الجامي على شاشة حاسب حيث يمكن رؤية وطباعة رسوم المنحنيات للقمم في القنوات الناتجة كلاً حسب طاقته ، كما يمكن أيضاً طباعته وحساب صافي المساحة لكل قمة عند طاقة معينة وبالتالي نسبة صافي المساحة Net area تحت المنحني للذروة الضوئية إلى تركيز العنصر

الكلية. لذا فإن كفاءة العد لمعظم الأجهزة أقل من ١٠٠% أى يمكن القول أن جزءاً فقط من الكمية الكلية المتحللة فى العينة هو الذى يتم عدّه. عموماً فإن كفاءة العد فى الأجهزة المختلفة أيضاً يؤثر فيها عوامل مثل :

١- امتصاص الإشعاع: عند قياس عينة ما يمتص جزء من الإشعاع داخل العينة نفسها ، وتتناسب الكمية الممتصة داخل العينة تناسباً طردياً مع تركيز الذرات المشعة فى العينة مع ثبات جميع الظروف الأخرى مثل نوع مادة الامتصاص والشكل الهندسى الذى يعتمد على الزاوية بين مصدر الإشعاع والكاشف تساوي 4π أى ان العداد يحيط بالمادة من معظم الجهات وعلى ذلك فإنه فى حالة المصادر الصغيرة المشعة تكون الزاوية أقل من 180° درجة (2π) أى ان الشكل الهندسى يقل بمعدل النصف . كما أن الامتصاص الذاتى يتناسب عكسياً مع حجم العينة لذا فإنه لتقليل الخطأ الناتج عن الامتصاص الذاتى يجب أن تكون كل القياسات والأحجام ثابتة من العينات مع تقليل الحجم إلى أقل ما يمكن بالتبخير أو الترسيب الكيمىائى . وتتضاعف كفاءة العد إذا كانت العينة فى وضع هندسى يغطى بلورة الكاشف بالكامل ويمكن الوصول لهذا الوضع باستخدام وعاء (مارنيللى) وهو إناء من البلاستيك أو أية مادة ذات معامل امتصاص ضئيل لأشعة جاما . يوضع الوعاء حول العداد يكافئ حجم البلورة بحيث ان الوعاء يدخل فى البلورة وتصبح البلورة فى هذه الحالة كأسطوانة محورية موازية للجدار الخارجى للوعاء ويمتلئ الوعاء عادة بمادة متجانسة حجمها فى حدود اللتر .

باستخدام حجم معين من العينات المطحونة والتي توضع فوق العداد لغرض قياس نشاطها الإشعاعى يمكن التعرف على العناصر المشعة الملوثة للعينة وكميتها فى حالة استخدام عينات عيارية تحتوى على نفس النظائر المشعة الموجودة فى العينات المراد قياسها ويراعى أن هذه العينات مماثلة لنفس حالة وحجم العينة .

٢- تأثير الخليفة الاشعاعية : لا يمكن قياس النشاط الإشعاعي لاي نظير مشع بدون قياس للخلفية (Background). فعند عدم وضع مادة مشعة بالجهاز نلاحظ أن هناك قراءات تدل على وجود نشاط إشعاعي نتيجة لمصادر مشعة طبيعية أو صناعية تؤثر عليه بل وتتداخل مع قراءة الجهاز وهو ما يسمى بالخلفية الاشعاعية. ويؤدي إلى خطأ في العد ما لم يقدر وي طرح من العدات الكلية حتى يمكن الحصول على صافي العدات الفعلية. وقد تتغير الخليفة الاشعاعية أثناء العد لذا يجب تقديرها في بداية العد ونهايته أو بين عد العينات. لتغلب على مشكلة الخليفة يجب إحاطة أنبوبة الكاشف بكث من الرصاص حيث يقل هذا الخطأ المحتمل بحوالى ١٥%. أو وسائل إحصائية حيث يمكن تقليل الخطأ المحتمل بزيادة زمن عد للعينة.