الفصل الثالث

كواشف الاشعاع المؤين

٣ – ١ الكشف عن الإشعاعات المؤينة

يعتمد الكشف عن الإشعاعات على حدوث ظاهرة التأين أو التهيج وإثـارة 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 فى المادة ويتناسب عدد هذه الأزواج الأيونية طرديا مع طاقة الجسيمات الساقطة علـى مادة الكاشف. عند تجمع الإلكترونات أو الأيونات الناتجة عن التأين وقياس الشـحنة الكهربائية الناتجة عن هذه الأزواج (أو التيار الكهربائى الناتج) يمكن معرفـة عـدد الجسيمات الساقطة وطاقتها . وتستخدم أنواع متعددة من الكاشف تتوقف على نـوع الإشعاع الساقط (ألفا – بيتا – جاما) ، شدة الإشعاع ، طاقـة الإشـعاع ، وشـكل المصدر المشع نفسه.

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

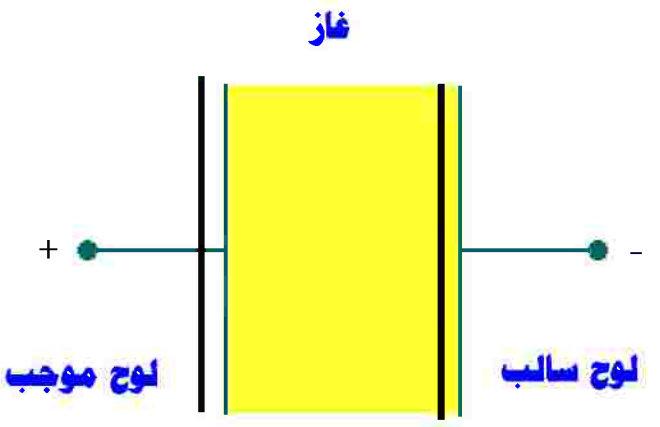
يتكون اى كاشف إشعاعي من المادة التي يتفاعل معها الإشعاع (غاز ،مادة وميضية ،مادة شبة موصلة) والتي تسمى بالحجم الحساس للعداد.تحيط بالحجم الحساس المكونات التركيبية والتي تتضمن الغلاف ونافذة الكاشف الرقيقة والجزء الأخير من مكونات الكاشف هي دوائر نقل الإشارة الالكترونية. الكواشف اجهزة تستجيب للاشعاع المؤين بتوليدها نبضة كهربائية تتولد نتيجة لانتقال طاقة الالكترون الى الحجم الحساس للعداد وتسمى النسبة بين عدد العدات في الثانية(cps)الى عدد الانحلالات 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 يَتفاعلُ مع ذرّاتِ الغازِ في هذه الكواشفِ ويُسبّبُ ذلكُ تنتَجَ الايونات حسب الظاهرة الكهروضوئيُة وظاهرة كومبتون. ونتيجة للتأين يتولد زوجَ من الأيونات الموجبة وإلكترونات السالبة.يتكون الكاشف الغازي من وعاء يحتوي على لوحين متوازيين احدهما يمثل الكاثود والأخر الانود وبينهما غاز خامل مثل الاركون او الزينون . ان سبب استخدام غاز خامل لكي لايؤثر التفاعل الذي يحصل بعد التأين على صفات الغاز وبالتالي لاتتغير خواص الكاشف . شكل (٣ – ١). الكشفَ عن إنتاجِ ألأزواج الأيونية في الغازِ هو أساس عمل الكواشف الغازية حيث ان استعمال مجال كهربائي بين لوحي الكاشف ناتج عن تطبيق فولطية مستمرة بين لوحي الكاشف يؤدي الى جمع الالكترونات على القطب الكهربائي ألموجب و جمع الأيونات الموجبة نحوَ القطب الكهربائي السالب إذا كانت الفولطية المطبقة كافية لفصل الالكترونات عن الأيونات الموجبةً.

شكل (٣ - ١) الكاشف الغازي ذو اللوحين المتوازيين



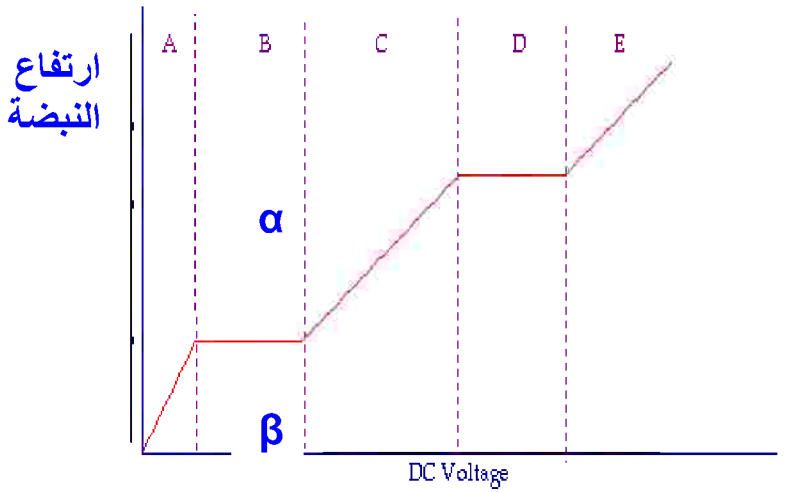
إذا كانت الفولطية قليلة يحصل اعادة الاتحاد بين الايونات المختلفة الشحنة لتكوين ذرة غاز وفي حالة الفولطية العالية يحصل تفريغ كهربائي بين القطبين ويعمل الكاشف وكأنة مصباح نيون.

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

لمعرفة تأثيرِ الفولطيةِ المستمرة على مقدار ارتفاع النبضة ألمتولدة على طرفي المقاومة نأخذ كاشف غازي وتطبق فولطية مستمرة بين لوحي الكاشف نغير مقدار الفولطيةِ ونرسم خط بياني محورة العمودي يُمثّلُ ارتفاع النبضَة بمقياس لوغاريتمي والمحور الافقي يمثل الفولطيةِ المستمرة المطبقة على لوحي الكاشف .

النَتائِج التجريبية يُمْكِنُ أَنْ تقسم الخط البياني إلى خمس مناطق شكل (٢ – ١٠) هي :

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



١ – منطقة إعادة الاتحاد A :

عندما تكون الفولطية منخفضةً نسبياً، يَحْدث إعادة الاتحاد بين مجموعةِ كبيرة من الآيوناتِ الموجبة والألكتروناتِ. كنتيجة لَذلك فان معظم الازواج الايونية يعاد اتحادها ويكون ارتفاع نبضةِ الفولطيةَ منخفضُ نسبياً. وبزيادة الفولطية تقل اعادة الاتحاد ويَزيدُ ارتفاع النبضةِ بشكل سريع.

٢ – منطقة التأين B :

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

٣– منطقة التناسب C:

في هذه المنطقة تكون الفولطية عاليُة بما فيه الكفاية حيث تعجل في هذه ألالكترونات عندما تَقتربُ مِنْ السلكِ المركزي وتكون ُ طاقتها كافيةً لكي تصطدم مع الكترونات ذرّاتِ الغازِ لإنْتاج أزواجِ ايونية ِ جديدةِ. وهكذا يزداد عدد الألكتروناتِ المتجمعة على الانود بشكل كبير وبمقدار يتناسب مع زيادة الفولطية ويسمى ذلك بمضاعفة الايونات (ion multiplications).تسمى المنطقةِ بمنطقة التناسب ويسمى الكاشف الذي يَشتغلُ في هذه المنطقةُ بالعداد التناسبي.

٤ – منطقة كايكر مولر D:

عندما تزداد الفولطية كثيرا فان معظم الجسيمات المشحونة التي ولدها الاشعاع تكون لها طاقة كافية لتأين جزيئات الغاز مكونة ايونات ثانوية لها من الطاقة مايكفي لتوليد ايونات ثالثية كذلك لها من الطاقة مايكفي لتوليد ايونات رباعية .....وهكذا أي يحصل تأين لمعظم ذرات الغاز فيحصل مايسمى بالانهيار الكتروني.تتجه الالكترونات نحو الانود وتنتشر الغيمة الالكترونية على طول السلكِ المركزي. هذه المنطقةِ تُدْعَى منطقةَ كايكر مولر، والكاشف المستخدم عند هذه الفولطية يسمى عداد كايكرِ.

٥ – منطقة التفريغ E

وعند زيادة الفولطيةِ بشكل كبيرِ جداً يحصل تفريغ كامل للغازِ وبذلك لايمكنها كشف الاشعاع 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 لوحي الحجرة تنفصل الالكترونات عن الايونات وتتجه نحو الاتود فيزداد التيار بشكل سريع بزيادة الفولطية حتى تصل حالة الاشباع أي ان الانود يسحب جميع الالكترونات التي تولدت نتيجة لسقوط الشعاع على الحجم لحساس للعداد.تكون الاشارة الخارجة ضعيفة الشدة لذلك نستِعْمل مضخّم حسّاس جداً و مجموعةٍ من الدوائر الإلكترونيةِ 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 الازواج الايونية المتولدة (n) يساوي

$$n = 1MeV \setminus ٣٠ \times ١٠^{-٦}$$

$$= ٣.٣ \times ١٠^{٤} \text{ ايون}$$

الشحنة الكهربائية المتكونة في الغاز $Q = n . e$

$$= ٣ .٣ \times ١٠^{٤} . ١.٦ \times ١٠^{-١٩}$$

$$Q = ٥ \times ١٠^{-١٥} \text{ كولوم}$$

إذا افترضنا ان حجرةَ التأيّنَ بشكل متسعة سعتها ١٠٠ بيكو فراد(pF) فان ارتفاع نبضِة الفولطيةَ التي ولّدتْها V

$$V = Q\setminus C = ٥ \times ١٠^{-١٥} \setminus ١٠٠ \times ١٠^{-١٢}$$

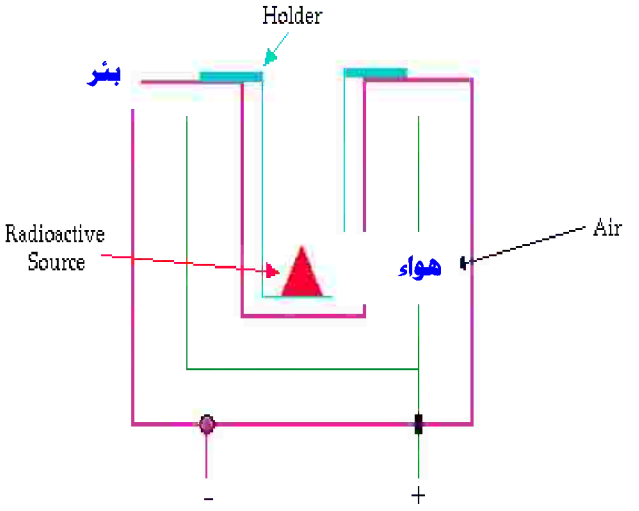
$$V = ٥٠ \text{ مايكروفولط}$$

مِنْ تطبيقاتِ حجرة التأيّنِ:

١ – قياسِ التعرّضِ الإشعاعي وهي كميةِ الشحنة الكهربائيةِ المتولدة في وحدةِ كتلة الهواء. غرفة التأيّنِ المملوءة بالهواءِ تستَعْمل لمثل هذا القياس.

٢ – قياسُ النشاط الإشعاعي. استعملت غرفةُ التأيّنَ التي تكون بشكل حفرة او بئر لكي توضع المادّةِ المُشعّةِ داخل البئر شكل (٢ – ١١) وبذلك يُمْكِنُ أَنْ يُكتَشفَ عن معظم الاشعاع المنبعث من المادّةِ المُشعّةِ. تستخدم هذة الحجرة على نحو واسع في الطب النووي لغرض تعير (Calibrate) النظائر المشعةِ بحيث ان التيارِ الكهربائيِ المتولّد بمثل هذا الكاشفِ يُدَرَّجُ لكي يعطي القراءة في وحداتِ النشاط الإشعاعي (MBq أَو mCi). أكثر أقسامِ الطب النووي يتوفر فيها على الأقل إحدى هذه الكواشف لكي تقيس النشاط الإشعاعي للمادة قبل اعطائها للمرضى.

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



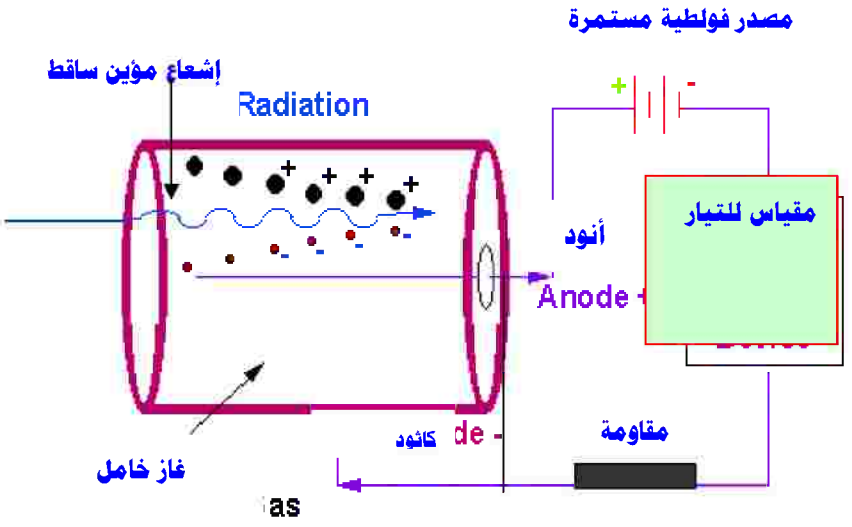
١ -عداد كايكر

تغل عداد كايكرِ في الفولطياتِ العاليةِ نسبياً والتي تتراوح بين ٣٠٠–٤٠٠ فولط والتي تسمى فولطية التشغيل . تمتاز هذه العدادات يكونها 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 واقل ارتفاع يكون لأشعة جاما لان التأين النوعي لجسيمات الفا اكبر منة لجسيمات بيتا وأشعة جاما على التوالي.

لقد استعيض 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 يَمر عبر مركزَ الأسطوانة والقطب الكهربائي السالب هو جدار الأسطوانة. من حيث المبدأ يُمْكِنُ تصنيع مثل هذا الكاشفِ بأخذ أنبوب معدني، يمر في مركزة سلك معدني و يَمْلا بغازِ خامل ِ وتغلق نهايتيَ الأنبوب، الكواشف الفعلية اكثر تعقيدا من ذلك. نَطبقُ الفولطية المستمرة عن طريق بطارية أو عن طريق مجهز فولطيةِ يُتصل بمقاومة خارجية . عند دْخولُ اشعة جاما داخل الكاشفَ. تُنتجُ أزواج أيونية في الغازِ بعدها تتجّهُ الأيونات الموجبة

إلى الجدار الخارجي للأسطوانة والالكترونات تتجه إلى السلكِ المركزي. الألكتروناتِ تَمر خلال المقاومةِ مكونة تيارَ كهربائيَ وحسب قانونِ اومِ تتولد فولطية بين طرفي المقاومة،هذه الفولطيةِ تُضَخَّم ُ بمضخّمِ لتَضخيم الفولطيةِ. يتضمن الكاشف مقياس (rate meter) لقياس نبضات الفولطيةِ لوحدة الزمن (معدل العد - Rate Count)اوعداد (Scalar) الذي يَحْسبُ عددَ نبضاتِ الفولطيةِ المتولّدَة في فترة زمنيةَ معينة (العد - Count) .

بعد امتصاص الإشعاعِ في الغازِ تحصل ظاهرة انهيار ألالكتروناتِ وتكون نبضاتَ الفولطيةَ ألمتولدة بهذا الكاشفِ كبير نسبياً حيث أن الغازُ يعمل كمضخّمِ للشحنات الكهربائيةِ المتولدة.

مِنْ اهم مميزات هذة الكواشفِ:

١ – عدم الحاجةَ إلى مضخّم حساس (كما كَانَ الحالةَ حجر التأيّنَ) لهذا الكاشفِ بسبب تكبيرِ الغازَ فتكون الاشارة كبيرة .

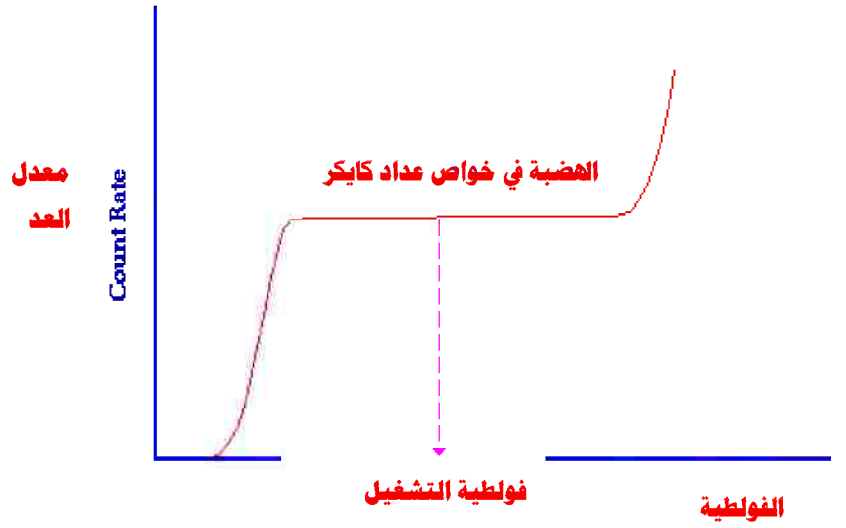
٢ – يجب أنْ تتوقف عملية انهيار الإلكترون لكي يعمل الكاشفَ كما ينبغي. فعندما تسقط الدقائق ألمشعة او الفوتونات فان ذرات الغاز تمتصها ويحص تفريغ ُكامل ُ للغازِ وبذلك يعجز الغاز عن الكشف عن الإشعاعات التالية التي تدْخلُ الكاشفَ. لذلك لابد من وجود وسائل لإيقاف انهيار الإلكترون وُتعالجُ بعملية تسمى الاطفاء (Quenching). وأحد وسائلِ الإطفاء تقليل الفولطيةَ المستمرة إلكترونياً بعد كل انهيار. والطريقة الثانية ألأكثر استعمالا هي إضافة كمية صغيرة من غاز مطفئ إلى الغازِ الخامل، مثل غاز الكحول الأثيلي. الكحول الأثيلي بشكلِ بخارِ يتكون من جزيئاتِ ذات طاقةِ كبيرةِ تمتص طاقة الالكترونات وبذلك لأتصرف في عملية انهيار الإلكترون .اي ان جزيئاتُ الغاز المطفئ الكبيرة تَتصرّفُ مثل الكابح لظاهرة الانهيار.

٣- بصرف النّظر عن نوعِ الغاز المطفئ المستعملِ في الكاشفَ فان الكاشفَ لايسجل امتصاص إلاشعاع لفترة زمنية صغيرة. هذه الفترة الزمنيةِ تُدْعَى بزمن الخمود (Dead Time) .وبالرغم من ان زمن الخمود قصيرة نسبياً (٢٠٠-٤٠٠ µs) لكنه يقلل من كمية الاشعاع الحقيقية.و كنتيجة لذلك نحَصل على قراءة بهذا الكاشفِ أقل منْ القراءة الحقيقية. يُمْكِنُ أَنْ تُحْسب القراءة الحقيقية للكاشفِ باستعمال المعادلةِ التاليةِ:

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

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

شكل(٣ -٥) تعين فولطية التشغيل لعداد كايكر



٣- ٣ الكواشف الوميضية: (Scintillation Detectors)

كواشفَ الإشعاعِ الوميضية من أول الكواشف التي استخدمت للكشفَ عن الإشعاعات المؤينة . فقد لاحظ رونتجن عند اكتشاف الأشعة السينيةِ في ١٨٩٥ وبطريق الصدفة انبعاث وميض عند سقوط الالكترونات المعجلة داخل أنابيب مفرغة على بلورات سيانيدِ 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 المؤنية كالجسيمات المشحونة (ألفا) و (بيتا) وإشعاعات جاما ثم عودتها إلى حاله الاستقرار وتبعث الطاقة الفائضة بشكل ومضات ضوئية. تعرف مثل هذه المواد بالمواد الوميضيه وللكشف عن الإشعاعات المؤنية 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 وهى الأكثر ملائمة للكشف عن الإشعاع المؤين. حيث يمكن الكشف عن أشعة جاما باستخدام بلورة أيوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم (Nal (Tl ، 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 النيترونات فتستخدم بلورة وميضية تحتوى على خليط من كبريتيد الخارصين والبارافين الذي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين التي تهدا النيوترونات السريعة نتيجة اصطدام النيترون بالهيدروجين ينطلق البروتون الذى يتم تسجيله فى الكاشف.

اما الاشعة السينيةِ فيتم الكشفِ عنها باستخدام بلورات السيزيوم المنشط بالصوديوم CsI (Na)

ب - العدادات الوميضية السائلة Liquid Scintillation Counters :

توجد مواد وميضية سائلة سائل مثل التلوين فائدةَ مثل هذه المادة الوميضية امكانية وضعها بتماس مباشرِ بالمادّةِ المُشعّةِ عن طريق خلْطَها مع النموذج المراد فحصة . لقياس النشاط الاشعاعي للجسيمات ذات الطاقة المنخفضة في عينة معينة توضع مع العينة المراد عدها 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 متماثل ، وهناك العديد من المواد البلورية مثل PPO (diphenylakazol) مع التلوين أو الدايوكسين كمذيب. تبنى فكرة العدادات الوميضية السائلة على أن الجسيمات المتأينة من المواد المشعة تحدث إثارة وتأين جزيئات المذيب التى بدورها تنقل الطاقة إلى جزيئات (PPO) التى تكون ومضات

ضوئية نتيجة لاكتسابها هذه الطاقة وإثارتها ثم عودتها إلى المستوى الارضي (الاستقرار) و عند انبعاث هذه الومضات فإنها تصل إلى أنبوبة المضاعف الضوئى. تُذوّبُ العينات أَو تعلّق في سائل يسمى "كوكتيل الذي يَحتوي على مذيب اورماتيكي مثل البنزين والتلوين .وقد استخدمت مؤخرا مذيبات أقل خطر من ألمذيب الاورماتيكي. تنقل جسيمات بيتا المنبعثة من العيّنةَ طاقتها إلى جزيئاتِ المذيب والذي يؤدي الى تهيجها ولكي تعود الجزيئات المتهيجة الى الاستقرار فإنها تبعث الضوءِ. بهذه الطريقة فان كُلّ جسيم من دقائق بيتا يُؤدّي إلى بعث نبضة من الضوءِ. في أغلب الأحيان تَحتوي الكوكتيلاتُ الوميضية بعض المواد المضافة التي تقوم بإزاحة الطولَ الموجي للضوءِ المَنبعث لكشفها بسهولة أكثر.

تَوْضَعُ المادة المشعة والكوكتيل في قنينة شفّافةِ أَو نصف شفافةِ صغيرةِ من الزجاج أَو البلاستيك في داخل العداد الوميضي السائل. وجهاز العداد الوميضي السائل له استخدام واسع فى قياس النشاط الاشعاعي 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 % تقريباً للفسفورِ -٣٢، ذي الطاقة العالية لجسيمات بيتا. بعض العينات تكون ملونة وعكرة وهذا يؤدي لعدم دقة عمليةِ القياس (مثل نماذج الادرار) لذلك يضاف لها بَعْض مركّبات الكلورِ لقصر اللون لكي لايحصل تدخلِ في القياس والذي يعرف بالاطفاء.

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

بيتا ذات طاقة عالية جدا فتم قياسها بدون استخدام العدادات الوميظية السائلة ، ويستخدم عدادات شيرنكوف (Cerenkov)، وفيها تذاب العينة المشعة فى الماء ويضع فيها محلول شيرنكوف وهذه الجزيئات المتأنية 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 أنبوبتى المضاعف الضوئى اما نبضات الخلفية الاشعاعية او النبضات الناتجة من الضوضاء الإلكترونية فسوف ترفضها دائرة التزامن والكاشف وهذه الدائرة غالباً ما تبرد لكى تقلل من الضوضاء الناشئة عن الحرارة المرتفعة فى أنبوبتى 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 النضات 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 وتسوء هذه المقدرة كلما ازداد حجم بلورة الكاشف والذى يفضل استخدامه كلما ضعف تركيز التلوث.

ت -العدادات الوميضية العضوية:

تتوفر بعض المواد الضوئية الوميضية بشكل بلاستيكِ 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، وبلاستك وجميعها تعمل بنفس الاساس حيث ان الاشعاع يؤين او يهيج هذه البلورات فتكون في حالة قلقة ولكي تعود الى وضع الاستقرارفانها تبعث وميضا بشكل فوتونات مرئية وغير مرئية. البلورةَ الوميضية(NaI (Tl يمكن ان تتلف لذلك يحيط بها غلافِ من الالمنيوم. يصمم لكي يعكس أيّ ضوء يسقط علية نحوالاسفل باتجاة 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 تُحوّيلَ الومضاتَ الضوئية التيَ أنتجتْ نتيجة لتوهين الاشعاع داخل البلورة الى الكترونات . يتم تجميع وتركيز الالكترونات بواسطة شبكة (Grid) وإسقاطها على قطب موجب يسمى الدينود

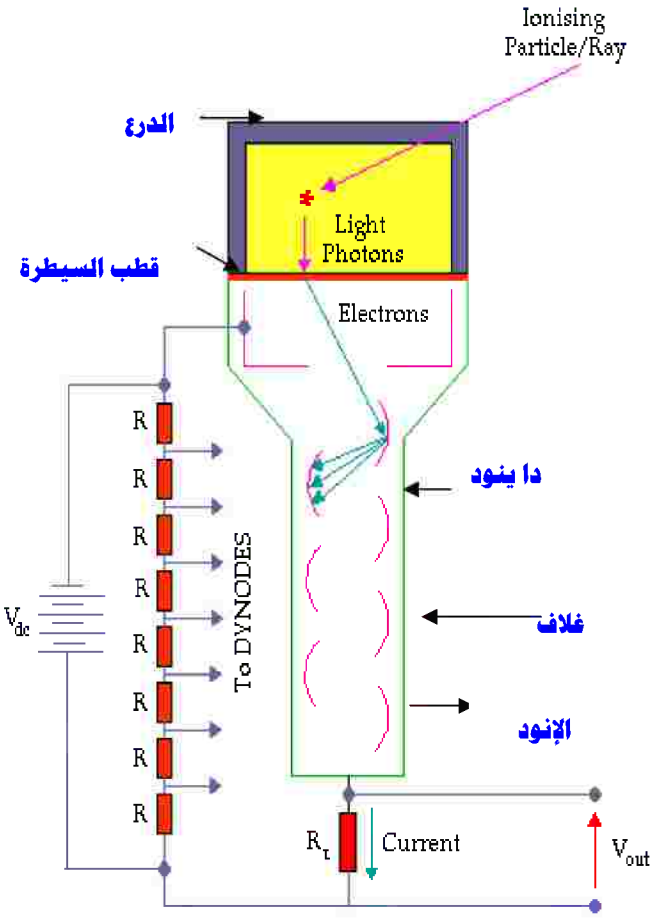
(dynode).يصنع الداينود من سبيكة خاصة والتي تبعث الالكترونات عند قصفها بالالكترونات أي ان الالكترونات المنبعثة أكثر من الكترونات الممتصة.عادة مايبعث الداينود بين ٢ – ٥ الكترون عند سقوط الكترون واحد. يوجد عدد من الداينودات تستعملُ لمضاعفة وتكبير ألالكترونات الضوئية التي تنبعث من سطح الداينود فمثلاً عند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

يَحتوي المضاعف الضوئي على مجهز للفولطيةِ العاليةِ المستمرة (V_{dc}) والتي يُمكنُ أَنْ يَكُونَ بحدود ١,٠٠٠ فولتِ بين طرفيها سلسلة من مجزئ المقاومات والتي يَشْملُ صَفِّ من المقاوماتِ، كلّ منها لَهُ نفس المقاومةِ R . وظيفة هذه السلسلةِ مِنْ المقاوماتِ أَنْ تُقسّمَ الفولطيةِ العاليةِ المستمرة (V_{dc}) إلى فولطياتِ متساوية تُجهّزُ إلى الداينودات شكل (٣ –٧) .

كنتيجة لذلك تَزداد الفولطيات بأجزاء متساويةِ وتطبق على صَفِّ الداينودات.كذلك تحتوي دائرة المضاعف الضوئي على حملَ خارجيR_L يستعملُ لتوليد فولطية خارجة V_{out}.

تَسري هذه الألكتروناتِ خلال مقاومةِ الحملَ الخارجي بشكل تيارَ كهربائيَ وتكون فولطية خارجة V_{out} طبقاً لقانونِ اوم الذي يُقاس بمجموعةِ من الدوائرالإلكترونيةِ . الميزّةَ المهمةَ للكاشفِ الوميضي هو ان الفولطيةِ الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقةِ الإشعاعِ المترسبة في البلورةِ.

شكل (٣ –٧) مكونات المضاعف الضوئي



ويمكن بسهولة حساب الشحنة المتجمعة على الانود والتي تعطي فكرة أفضل علـــى أداءِ الكاشف الوميضي.

الشحنة المتجمعة على الانود يمكن كتابتها حسب المعادلة التالية

$$Q = m f \pounds R^n e$$

m: عدد الفوتوناتِ المتولدة في البلورِة

f: الكفاءة البصرية للبلورةِ، كفاءةُ البلورة لإرسال الضوءً

£: الكفاءة الكَمّية للكاثود الضوئي (كفاءةُ للكاثود الضوئي لتحويل الفوتوناتَ الضوئية إلى الالكترونات).

n: عدد الداينودات .

R: عامل المضاعفة للداينودات.(عددُ الألكتروناتِ الثانويةِ المنبَعثَة مِن الداينود لكلّ ألكترونِ ممتصَّ).

e: شحنة الإلكترون.

فعلى سبيل المثال نفترض ان طاقة اشعة جاما تساوي ١٠٠ keV والتي تُمتَص في البلورةِ.و عدد الفوتوناتِ المتولدةُ حوالي ١,٠٠٠ لبلورة وميضية مثاليةِ. كفاءتها البصريةَ ، f ،تساوي 0.5 أي ان ٥٠ % من الضوءِ ألمتولد يصل الى للكاثود الضوئي والذي لَهُ كفاءة كَمّية£ مِقدارها ٠.١٥. المضخم الضوئي المثالي يحتوي عشَر داينودات عامل المضاعفة لها يساوي ٤.٥.

لذلك $$Q= m f \pounds R^n e$$

نعوض في المعادلة اعلاة

$$Q= 100000 \quad x0.5x0.15x4.5^{10}x1.6x10^{-19}$$

$$Q=٤٠ \text{ pC}$$

هذه الكميةِ مِنْ الشحنة صغيرةُ جداً لذلك يجب استعمال مضخّم حسّاس جداً التَضْخيم هذه الإشارةِ. هذا النوعِ مِنْ المضخّمات يُدْعَى المضخّم الاولي (pre – amplifier)

٣ – ٤ الطيف الطاقي لأشعة جاما

كما علمنا سابقا بان هناك آليتان لتفاعلِ الاشعاع مع المادة هما التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون. ونعلم ان التأثير الكهروضوئيَ يَتضمّنُ الامتصاص الكليَّ لطاقةِ اشعة جاما، بينما تأثير كومبتون يَتضمّنُ امتصاص جزئي لهذه الطاقةِ.ولان الفولطيةِ الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقةِ الإشعاعِ المترسبة في البلورةِ لذلك نتوَقُّع بان التأثيراتِ الكهروضوئيةِ في البلورِ ستُولد فولطية خارجة مُتميّزةِ وكبيرةِ نسبياً ،اما تأثيراتِ كومبتون ستُؤدّي إلى توليد فولطياتِ صغيرة .

الطريقَة الاعتياديَة لتَوضيح هذه المعلوماتِ من خلال الرسم البياني بين معدل العدات كدالة مِنْ لارتفاع نبضِة الفولطيةِ الناتجَة وطاقة الإشعاع .شكل (٣ – ٨)

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

يوضح الرسم البياني الناتج عن اشعة حاما المنبعثة من نظير ^{99m}Tc الذي، يَبْعثُ اشعاع جاما الاحادية الطاقةِ (١٤٠ keV).مثل هذة الرسوم البيانية تسمى الطيف الطاقي لأشعة جاما. الشكل يَحتوي منطقتان الاولى تسمى الذروة (القمة) الضوئية(Photo peak)والثانية تسمى تشتت كومبتون. الذروة الضوئية تَنْتجُ بسبب الامتصاص الكهروضوئي لأشعة جاما المنبعثة مِنْ المصدر المُشعِّ.بعض المصدر المُشعِّة تبعث أشعة جاما بطاقتين اواكثر.فمثلا الكوبلت –٦٠ له ذروتين ضوئيتين الاولى عند الطاقة ١١٧٢ keV والثانية عند الطاقة ١٣٣٣keV.

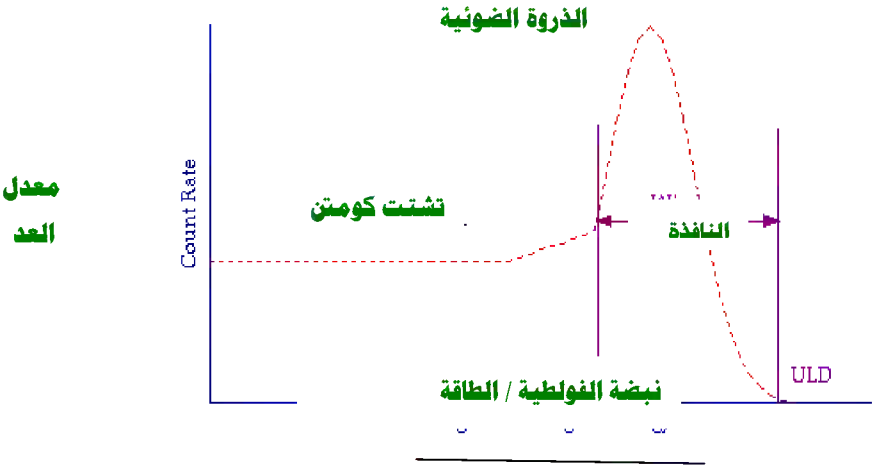
يُلاحظ ان الذروة الضوئية لَها تذبذب إحصائي يعتمد مقداره على نوعيةِ الكاشفِ. فالكاشف الجيد ،عالي النوعية، سَيكونُ عِنْدَهُ التذبذب الإحصائي قليل وتكون الذروة الضوئية ضيقة.

ويتكون الطيف كذلك من جزء آخرَ هو تشتت كومبتون والذي يحتوي مدى واسع من الفولطياتِ الناتجة التي تكون أوطأ مِنْ الذروة الضوئية. هذا الطيف مؤشّر على الامتصاص الجزئي لطاقةِ أشعة جاما في البلورة. وتأثيرات كومبتون هو تشتت فوتونات جاما مَع الكترونات التكافؤ والذي ينتج نبضاتِ فولطيةِ كبيرةِ نسبياً. ومن تأثيرات كومبتون آلاخرى انَ ُ اشعاعَ جاما ينقلِ الطاقةِ الأقل الى إلكترون التكافؤ لذلك يولد نبضة فولطيةِ صغيرةِ نسبياً ُ . وبين هاتين النهايتين في مدى التشتت توجد نبضات تتضمّنُ مدى من تحولات الطاقةِ لذلك تتولد ارتفاعاتِ لنبضةِ الفولطيةِ.

من المُهمِ أيضاً العلم بان الكواشفِ الغازية تُستَعملَ للكشف عــن وجــود إلا شــعاع بالإضافة إلى كميةِ ذلك الإشعاعِ اما العدادات الوميضية فإنها بالإضافة لكشفها عن وجود إلا شعاع وكميتةِ تزودنا بمعلومات اضافيةِ عن طاقةِ الإشعاع. هذه المعلومات الإضافيةِ للعددات الوميضية يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ للعديد مِنْ التطبيقاتِ المتنوّعــةِ مثــل معرفةِ نوع النظير المشع المجهول وكذلك لإنتاج صورِ الطــب النــووي. الــذروة الضوئية لطيف طاقة اشعة جاما مهم في الطب النووي لأنها صفة مميــزة للنظيــر المشع والتي يمكن عزلها عن طيف تشتت كومبتون باستعمال تقنية تحليلَ ارتفــاع النبضةِ . هذة التقنية تتضمن نوعين من الدوائر إلكترونية تُدْعَى الدائرة الاولى مميّز المستوى ألأدنى(Lower Level Discriminator)–LLD الذي يَسْمحُ لَنبْضــات الفولطية بالمرورِ خلال الدائرة عندما تكون أوطأ مِنْ النبضة المثبتة . تُدْعَى الدائرة الثانية مميّز المستوى ألأعلــى (Upper Level Discriminator)– ULD الــذي يَسْمحُ لنبضاتِ الفولطيةِ بالمرورِ خلال الدائرة عندما تكون أعلى مِنْ النبضة المثبتة .

إنّ النتيجةَ لاستعمال كلتا الدائرتينِ يمثل نافذة ذات عرضِ متغيّر والتي يُمْكِنُ تُوْضَعَ في أي مكان على طول الطيف. فعلى سبيل المثــال إذا رغبنــا بالحُصُــول علــى معلوماتِ عن ذروة ضوئية معينة نثبت المميز بين بدايتها ونهايتها شكل(٣ –٩)

شكل (٣ –٩). استخدام دائرة المميز



يجب مُلاحَظَة نقطة مهمة بأنّ منظومة الكاشفِ الوميضي تستعمل بشكل واسع للحُصُول على المعلوماتِ حول طاقاتِ الإشعاعِ المنبعث مِنْ المصدر المُشعّ والتي تسمى المطياف الوميضي.

ويكون المطياف على نوعين:

الاول مُحلّل القناةِ المنفرد (Single ChannelAnalyzer)البسيطِ نسبياً والمُحلّلِ المتعدّدِ القنوات الأكثرَ تطورا.يحتوي إ مُحلّلَ القناةِ المنفرد على بلــورة وميضــية متصلة بمضاعف ضوئي يشتغل بفولطية عالية (H.V)إنّ الفولطية الناتجة تُضخّمُ باستخدام المضخّم الاولي ثم نُضخّمَ وتعدل باستخدام المكبر .نبضاتَ الفولطيةَ بعــد خروجها من المكبر تكون في شكل مناسب لمُحلّلِ ارتفاع النبضَة (P.H.A.) حيث ان ناتج النَبْضات الخارجة منة يُمْكِنُ أَنْ تُغــذّي إلــى مقيــاس (Scalar),وعــداد Ratemeter لعرضِ المعلوماتِ حول جزءِ الطيفِ الذي سَمح لة بالمرور خــلال

.(P.H.A).العداد وسيلة لعرضِ عددِ النبضاتِ المتولّدَة لوحدةِ الزمن. اما المقيـــاس فيَشْملُ عادة عرض رقمي لعددَ نبضاتِ الفولطيةِ ألناتجَة في فترة زمنيةَ محددة.

الثاني مُحلّل متعدّد القنوات (Multi- Channel Analyzer -MCA):لاناة أي دائرة كاشفِ أكثرِ تَطَوُّراً هو مشابه تماماً لممحلّلَ القناةِ الوحيدِ باستثناءِ اُستَبْدال العداد والمقياس ومحلل ارتفاع النبضة بمُحلّل متعدّد القنوات و حاسوب. إنّ مُحلّلَ متعدّدَ القناةَ (MCA) دائرة لها القدرة على تثبيت عدد كبير مِنْ النوافذِ الفرديةِ للنَظْر إلى الطيف الكلي مرة واحدةً .شكل (٣ – ١٠).

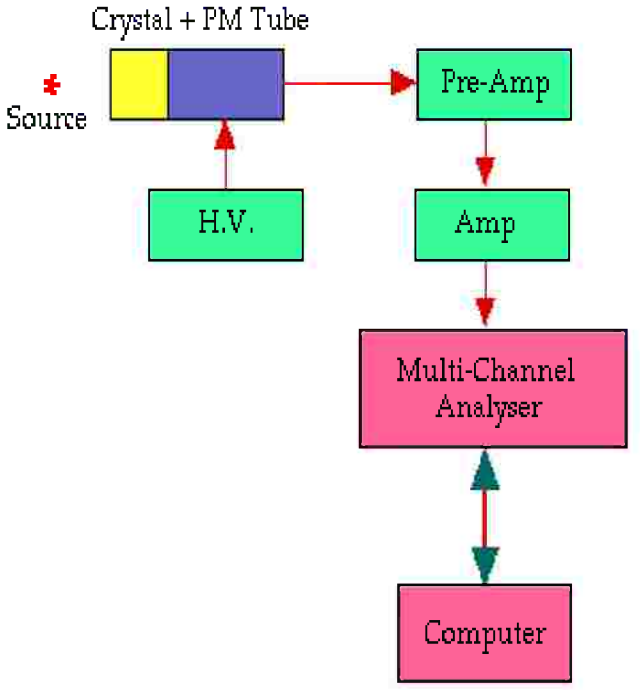
احد انواع مُحلّلَ متعدّدَ القناةَ يحتوي على ١٠٢٤ نافذةِ فرديةِ والحاسوبِ الذي يَحتوي على برامجَ جاهزة لمُعَالَجَة المعلوماتِ الناتجةِ بطرقِ عديدة .

تمتاز العدادات الوميضية الصلبة غير العضوية(NaI (Tl 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 الوميضي يكون مفيدا أذا كان طيف النظير المشع يحتوى ذروة ضوئية واحدة او ذروات طاقة متباعدة لكي لاتتداخل 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 الوميضى بكوا شف الحالة الصلبة.

٣ -٥ كوا شف الحالة الصلبة.

وهي الكواشف التي يكون حجمها الحساس من مواد شبة موصلة 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 فى حالة الكواشف الوميضية.

شكل (٣ – ١٠) منظومة الطيف إلجامي ألوميضي متعدد القنوات



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

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

١- **امتصاص الاشعاع:**عند قياس عينة ما يمتص جزء من الإشعاع داخـل العينـة نفسها ، وتتناسب الكمية الممتصة داخل العينة تناسباً طردياً مـع تركيـز الـذرات المشعة فى العينة مع ثبات جميع الظروف الأخرى مثل نـوع مـادة الامتصـاص والشكل الهندسى الذي يعتمد على الزاوية بين مصدر الإشعاع والكاشف تساوي ٤π أي ان العداد يحيط بالمادة من معظم الجهات وعلى ذلك فإنه فـى حالـة المصـادر الصغيرة المشعة تكون الزاوية أقل من١٨٠ درجة (٢π) أى ان الشكل الهندسى يقل بمعدل النصف . كما أن الامتصاص الذاتى يتناسب عكسياً مع حجم العينة لذا فإنـه لتقليل الخطأ الناتج عن الامتصاص الذاتي يجب أن تكون كل القياسـات والأحجـام ثابتة من العينات مع تقليل الحجم إلى أقل ما يمكن بالتبخير أو الترسيب الكيميائى . وتتضاعف كفاءة العد إذا كانت العينة فى وضع هندسى يغطى بلورة الكاشف بالكامل ويمكن الوصول لهذا الوضع باستخدام وعاء (مارنيللى) وهو إناء من البلاسـتيك أو أية مادة ذات معامل امتصاص ضئيل لأشعة جاما . يوضع الوعاء حول العداد يكافئ حجم البلورة بحيث ان الوعاء يدخل في البلورة وتصبح البلورة فـى هـذه الحالـة كأسطوانة محورية موازية للجدار الخارجى للوعاء ويمتلئ الوعـاء عـادة بمـادة متجانسة حجمها فى حدود اللتر.

باستخدام حجم معين من العينات المطحونة والتي توضع فوق العداد لغرض قيـاس نشاطها الإشعاعى يمكن التعرف على العناصر المشعة الملوثة للعينة وكميتهـا فـى 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 الخليقة الاشعاعية** :لا يمكن قياس النشاط الإشعاعى لاي نظير مشع بدون قياس للخلفية(Background). فعند عدم وضع مادة مشعة بالجهاز نلاحظ أن هناك قراءات تدل على وجود نشاط إشعاعى نتيجة لمصادر مشعة طبيعية أو صناعية تؤثر عليه بل وتتداخل مع قراءة الجهاز وهو ما يسمى بالخلفية الاشعاعية. ويؤدى إلـــى خطأ فى العد ما لم يقدر ويطرح من العدات الكلية حتى يمكن الحصول على صافى العدات الفعلية. وقد تتغير الخليقة الاشعاعية أثناء العد لذا يجب تقديرها فى بداية العد ونهايته أو بين عد العينات .لتغلب على مشكلة الخليفة يجب إحاطة أنبوبة الكاشـــف بكتل من الرصاص حيث يقل هذا الخطأ المحتمل بحوالى ١٥% .أو وسائل إحصائية حيث يمكن تقليل الخطأ المحتمل بزيادة زمن عد للعينة.