الفصل الخامس

التحليل الطيفي للمواد
باستخدام طيف اشعة جاما
و
طيف جسيمات الفا

5 – 1 المقدمة

من محددات استخدام الكواشف الوميضية للكشف عن الاشعاعات المؤينة هو ضعف فصل الطاقة ويعود السبب للعوامل التالية :

1- كثرة التفاعلات التي تحصل بين الاشعاع والمادة لغرض تحويل الاشعاع الساقط الى ومضات ضوئية ثم تحويل هذه الومضات الى اشارة كهربائية

2- الطاقة الازمة لتوليد الالكترون الضوئي كبيرة نسبيا (1000 الكترون فولط)، الالكترون الضوئي هو الذي يحمل المعلومات عن الاشعاع الساقط الى البلورة. كذلك فان عدد الالكترونات الضوئية المتولدة قليل نسبيا لايتعدى بضع آلاف منها ، فيكون الانحراف المعياري كبيرا والخطأ الاحصائي للقياس كبيرا .

ولغرض التغلب على هذة الصعوبات تم البحث عن نوع اخر من المواد الصلبة. لقد استخدمت لأول مرة بلورات ذات عازلية عالية وهي بلورات الماس للكشف عن الاشعاع المؤين ولكن سرعان ما تم التخلي عن استخدام هذه البلورات بسبب الخصائص السيئة لجمع الشحنات الناتجة وذلك لعرض حزمة الطاقة المحضورة .

تاريخيا ، تعتبر كواشف أشباه الموصلات هي نوع من انواع كواشف حجر التأين وبعد التقدم الكبير في استخدام بلورات احادية single crystals للمواد شبة الموصلة (السيليكون والجيرمانيوم) قي تكنولوجيات الترانزستور ، فقد استخدم السيليكون والجرمانيوم للكشف عن الإشعاعات المؤينة من خلال تصنيع ثنائي للتكبير من هذه المواد. وهناك كواشف شبه موصلة تتكون من بلورة كبير من السليكون أو ثنائي الجيرمانيوم من نوع p-n والتي تعمل بفولطية الانحياز العكسي. في درجة حرارة مناسبة للتشغيل (300 درجة مطلقة لكواشف السليكون 85 درجة مطلقة لكواشف الجيرمانيوم) . نتيجة لتكون منطقة الاستنزاف في الثنائي فان التيارات المتسربة تكون قليلة جدا وبتطبيق مجال كهربائي بين طرفي الثنائي يمكن جمع ما يكفي من الشحنات الكهربائية التي تحررت نتيجة لسقوط الاشعاع المؤين.اي يزداد عدد حاملات الشحنة والذي يؤدي إلى التقليل من الانحراف المعياري وبالتالي يزداد فصل الطاقة.

شهد العقد الماضي ، تطورا سريعا في استغلال ، أشباه الموصلات للكشف عن الإشعاع. حيث اصبحت أجهزة تطبيقات أشباه الموصلات لتحليل المواد واحدا من أهم المساهمات

البحثية للتكنولوجيا النووية ، والتي ساعدت في الكشف عن بعض جوانب من المشاكل البيئية. بالتوازي مع تطوير هذه التطبيقات ، فقد تم تطور أجهزة الكشف عن الاشعاع المؤين باستخدام رقائق للكشف عن الايونات الثقيلة ،او الجيرمانيوم النقي للكشف وتعين تركيز النظائر المشعة في مختلف النماذج الصناعية والبيئية . وتشير العديد من التطبيقات مساهمات كبيرة في مستقبل الفيزياء. يمكن استخدام كواشف أشباه الموصلات للكشف عن الالكترونات

ذات الطاقة العالية واشعة جاما.

5 - 2 المواد شبه الموصلة

نعلم بانة في حالة الذرة المنفردة فان الالكترون يدور في مستوى محدد من الطاقة اما في حالة المواد الصلبة البلورية والتي تتكون من عدد كبير من الذرات فان الالكترون لا يتأثر بنواته والالكترونات في ذرته فقط بل يتأثر بنوى والكترونات الذرات الاخرى فتكون مجموعة من المستويات للطاقة لكل ذرة تسمى بالحزم.

تقسم المواد من ناحية ايصالها للكهربائية الى ثلاثة انواع هي المواد امصلة ، شبة الموصلة ، والعازلة موضحة في الجدول (5 - 1).

اهم حزم الطاقة في المادة الصلبة:

1- **حزمة التكافؤ Valence band** : تحتوي على عدد من الالكترونات المقيدة بعضها مع البعض الآخر ولا تشترك في عملية التوصيل الكهربائي.

2- **حزمة التوصيل Conduction band** : تحتوي على عدد كبير من الالكترونات الحرة والتي تشارك في عملية التوصيل الكهربائي.

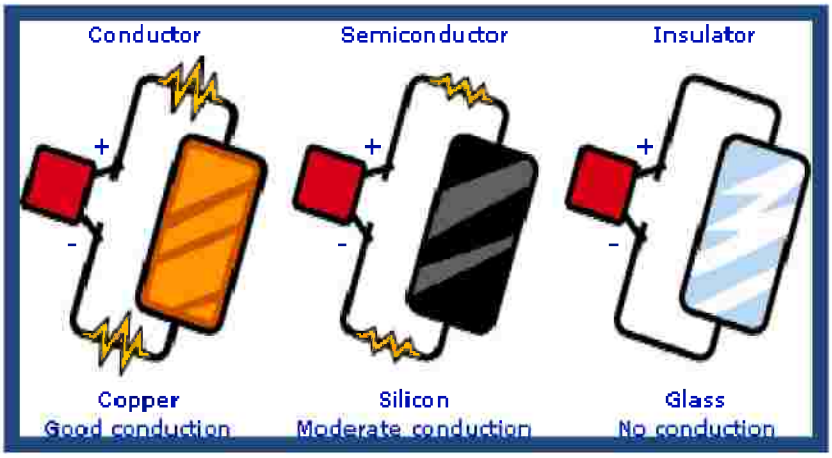
3- **ثغرة الطاقة المحضورة Forbidden energy gap** : وهي المنطقة التي تفصل بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل. وهي منطقة يحرم وجود مستويات طاقة فيها .وتكون المنطقة واسعة في حالة العازل ومتوسطة في حالة شبة الموصل وتتداخل حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل في حالة الموصل.

انواع المواد شبه الموصلة:

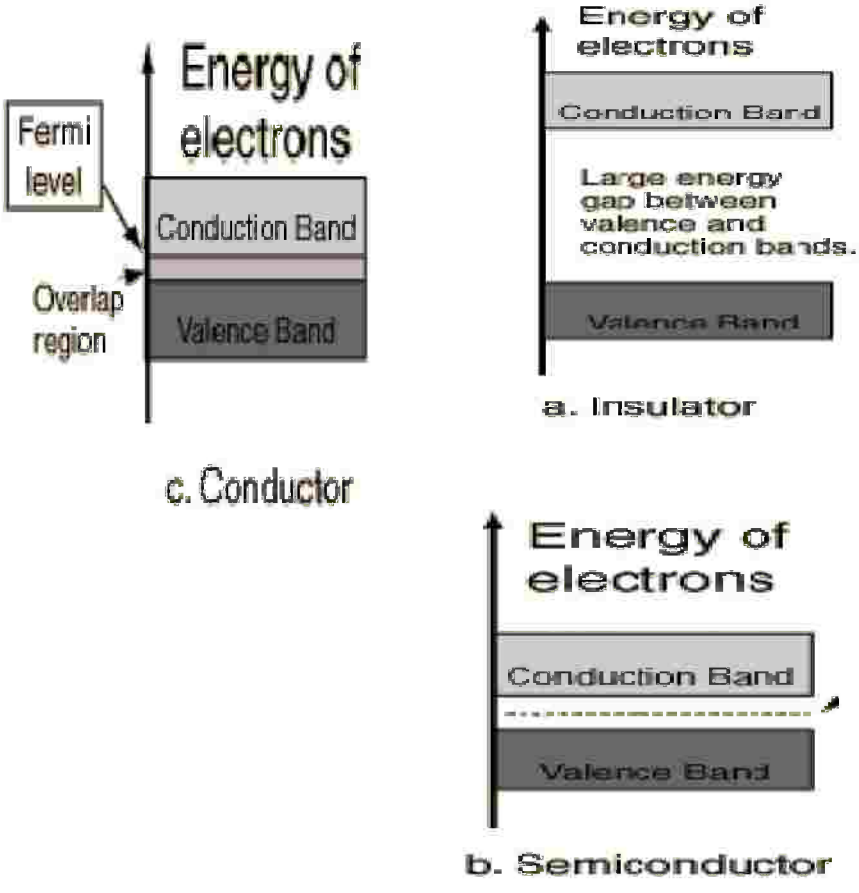
المواد شبة الموصلة النقية: هي الجرمانيوم Ge والسليكون Si وكل ذرة من هذه الذرات تكون رباعية التكافؤ لذلك فعندما توجد في البلورة فان كل ذرة ترتبط باربع اواصر تساهمية. عند درجة الصفر المطلق تكون الالكترونات في بلورة المادة شبه الموصلة مرتبطة مع بعضها ارتباطا وثيقا فتسلك كأنها مادة عازلة شكل (5 – 2).

جدول(5 - 1).مقارنة بين الموصل والعازل وشبه الموصل

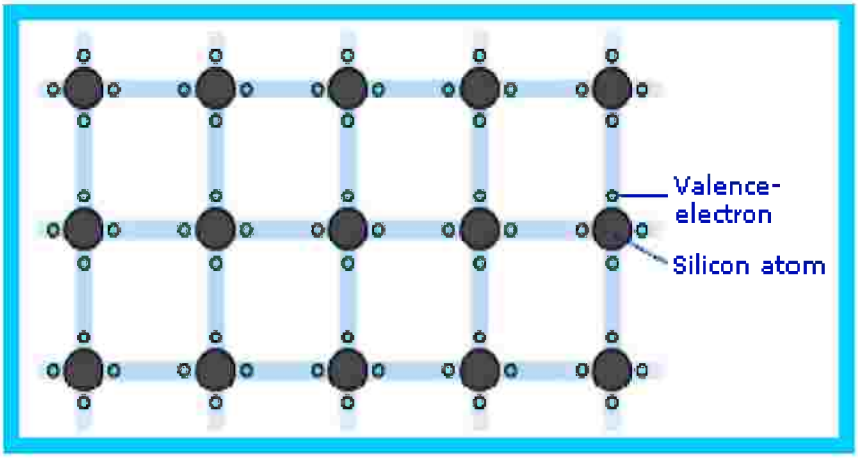
موصلة	عازلة	شبه موصلة
مقاومتها النوعية قليلة جدا	مقاومتها النوعية عالية جدا	مقاومتها النوعية متوسطة
تزداد مقاومتها(تقل الايصالية) بازدياد درجة الحرارة	تقل مقاومتها (تزداد ايصاليتها) بازدياد درجة الحرارة	تزداد ايصاليتها بازدياد درجة الحرارة.
النواقل الرئيسية للتيار الالكترونات	لا توجد نواقل	النواقل هي زوج (الالكترون- فجوة)
تحتوي حزمة التكافؤ على عدد قليل من الالكترونات المقيدة	تحتوي حزمة التكافؤ على عدد كبير من الالكترونات المقيدة والمرتبطة ارتباطا كبيرا بالذرة	تحتوي حزمة التكافؤ على عدد متوسط من الالكترونات المرتبطة والمقيدة ارتباطا وثيقا بالذرة
تحتوي حزمة التوصيل على عدد كبير من الالكترونات الحرة	حزمة التوصيل خالية من الالكترونات الحرة	حزمة التوصيل تحتوي عل عدد قليل من الالكترونات الحرة
تختفي ثغرة الطاقة المحضورة لتتداخل حزمة التكافؤ مع حزمة التوصيل	ثغرة الطاقة المحضورة يكون عرضها كبير	ثغرة الطاقة المحضورة يكون عرضها قليل



شكل (5 – 1) حزم الطاقة في المواد الموصلة ، العازلة وشبة الموصلة



شكل (5 – 2) السليكون شبه الموصلة النقي

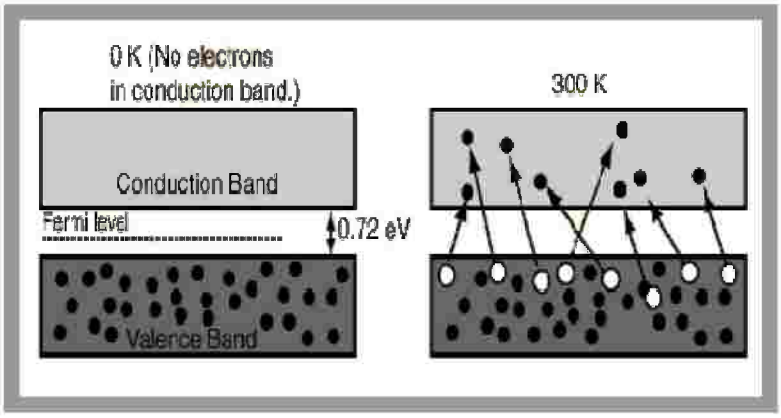


ولكن عند ارتفاع درجة الحرارة المادة شبة الموصلة ، او تسليط فرق جهد كهربائي بين طرفيها . او سقوط اشعاع على المادة شبه الموصلة فان الالكترونات في حزمة التكافؤ تنتقل الى حزمة التوصيل ويبقى مكانها فارغا يسمى بالفجوة وبذلك يتوليد زوج (الالكترون- فجوة) والذي يعتمد على، نوع المادة شبه الموصلة وطبيعتها و درجة الحرارة تتحرك كل من الفجوات والالكترونات بشكل عشوائي لذلك لا تولد تيار كهربائي، وعند تسليط مجال كهربائي فان الفجوات تتحرك باتجاه المجال الكهربائي والالكترونات باتجاه معاكس. ويكون التيار مساويا لتيار الالكترونات بالاضافة الى تيار الفجوات.

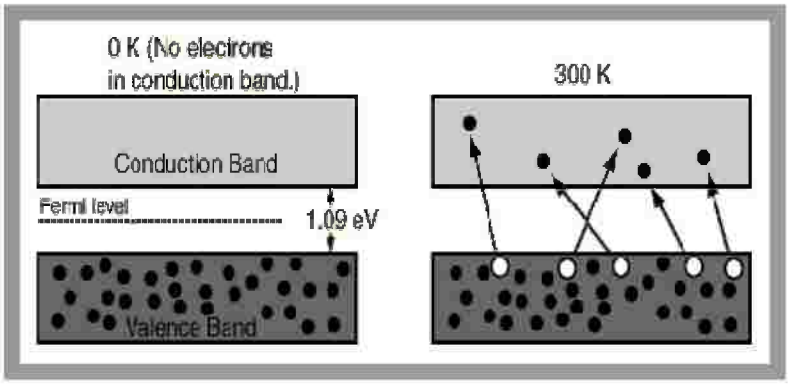
تسلك الفجوات سلوك شحنة موجبة وهي لا تتحرك ولكنها تمتلئ باحد الالكترونات القريبة فتتعادل مكونة فجوة جديدة تمتلئ بالكترون آخر وتتكون فجوة اخرى وهكذا.

ثغرة الطاقة المحضورة هي كمية الطاقة اللازمة لانتقال الالكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وتوليد زوج (الكترون- فجوة) ومقداره 1.1 الكترون فولت للسليكون و0.72 الكترون فولط للجرمانيوم. شكل (5 – 3).

شكل (5 – 3) ثغرة الطاقة المحضورة للجرمانيوم



ثغرة الطاقة المحضورة للسليكون



تتم السيطرة على الصفات الكهربائية لشبة الموصل وزيادة توصيليتة عن طريق اضافة نسب قليلة من الشوائب الى بلورة الموصل النقي وتدعى هذة العملية بالتشويب **doping**. وتسمى المادة بشبة الموصل المشوب هذه الشوائب نوعان:

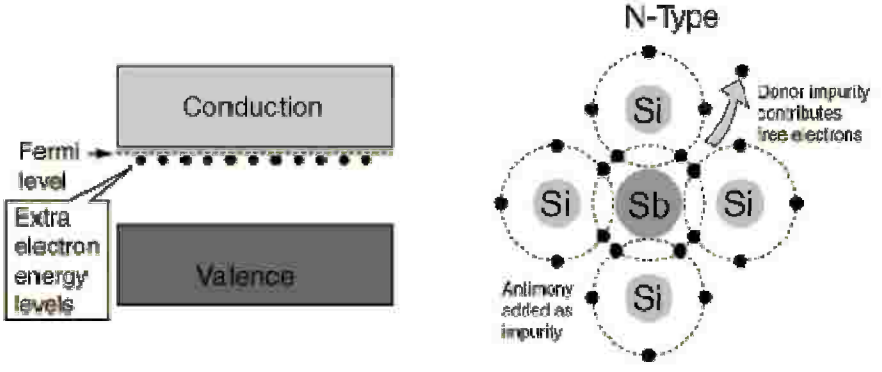
1 - الشوائب المانحة donor impurities : شوائب خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ والفسفور تمنح احد الكتروناتها عند ارتباطها بالمادة شبه الموصلة.اي انها تحتوي على عدد كبير من الالكترونات الحرة وتمثل الناقل الرئيسي والفجوات تمثل النواقل الثانوية.

تسمى مثل هذه البلورات بالبلورة نوع N (مادة شبه موصلة اضيفت لها شوائب خماسية التكافؤ). الشوائب تصبح ايون موجب لا يشارك في عملية التوصيل لارتباطه

الوثيق بالبلورة ويكون مستوى للطاقة قريب من حزمة التوصيل يسمى بالمستوى المانح ويقع في ثغرة الطاقة المحضورة وتنتقل الالكترونات منه الى حزمة التوصيل شكل (4 –5)

2 -الشوائب القابلة acceptor impurities : وهي شوائب ثلاثية التكافؤ مثل الالمنيوم، البورون، عند ارتباطها الى بلورة السليكون النقية تحتاج الى الكترون لكي ترتبط كليا مع المادة شبه الموصلة لذا تتولد فجوة. تسمى مثل هذه البلورات بالبلورة نوع P (مادة شبه موصلة اضيفت لها شوائب ثلاثية التكافؤ) تحتوي على عدد كبير من الفجوات وتمثل الناقل الرئيسي والنواقل الثانوية هي الالكترونات الحرة.

شكل (5 –4) مادة شبة موصلة من نوع N



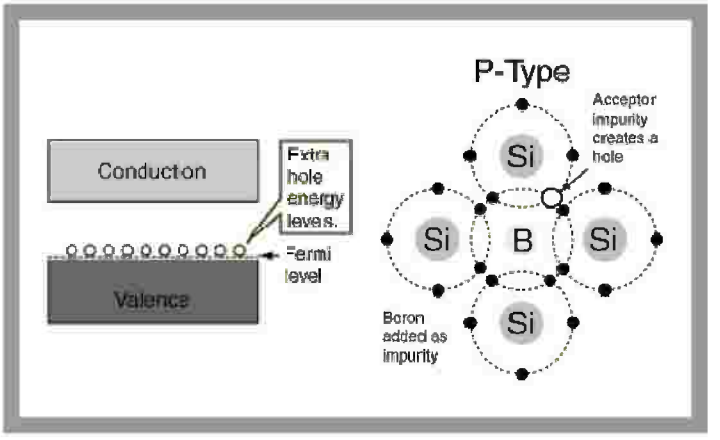
الشوائب تصبح ايون سالب لا يشارك في عملية التوصيل لارتباطه الوثيق بالبلورة. تكون الشوائب القابلة مستوى قريب من حزمة التكافؤ يسمى المستوى القابل ويكون في ثغرة الطاقة المحضورة وتنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ اليه. شكل (5– 5).

5 - 3 البلورات الثنائية (الدايود)

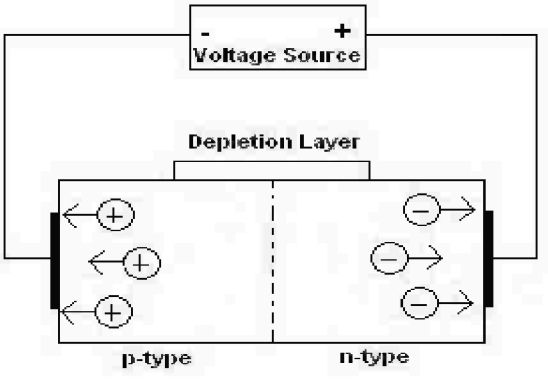
عند تشويب بلورة شبه موصلة نقية من احد جوانبها بشوائب خماسية التكافؤ والجانب الاخر بشوائب ثلاثية التكافؤ نحصل على ثنائي بلوري PN. يسمى السطح الفاصل بين بلورة من نوع N واخرى من نوع P في الثنائي البلوري (PN) **الملتقى (المفرق) تتولد** منطقة رقيقة على جانبي الملتقى تحتوي على شحنات حرة تتولد بسبب انتقال الالكترونات من N الى P او الفجوات من P الى N **تسمى منطقة**

الاستنزاف شكل (5– 6). اما فرق الجهد على جانبي الملتقى الذي تولد نتيجة انتقال الالكترونات من N الى P والفجوات من P الى N ويولد فرق الجهد مجالا كهربائيا معاكسا لحركة نواقل الشحنة ويمنع انتقالها يسمى **الحاجز الجهدي** .

شكل (5 – 5) مادة شبة موصلة من نوع P



شكل (5– 6) منطقة الاستنزاف



الانحياز الامامي و الانحياز الخلفي (العكسي):

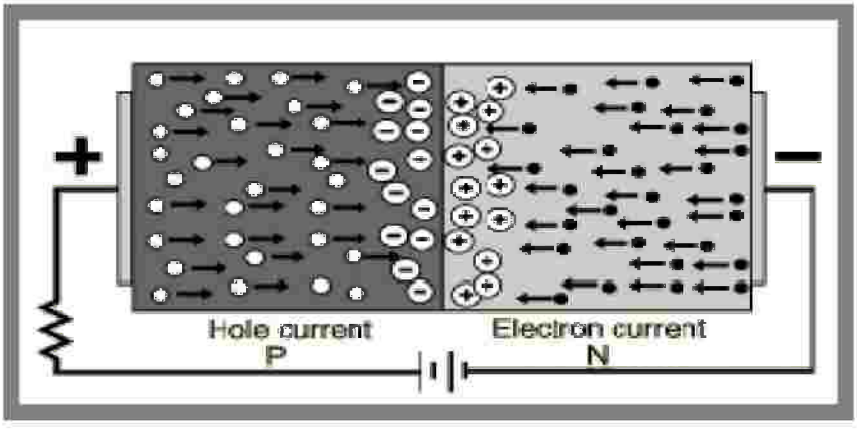
الانحياز الامامي forward biased :

وفية يربط N الى القطب السالب للنضيدة، P الى القطب الموجب للنضيدة ،و تنتقل الالكترونات من N الى P والفجوات من P الى N عبر الملتقى ويتولد تيار ناتج عن تيار الالكترونات + تيار الفجوات. مقاومة الثنائي تكون قليلة عرض طبقة الاستنزاف يكون

قليل لأن الفولتية الموضوعة (ف$_{نضيدة}$) تولد مجالا كهربائي باتجاه معاكس للمجال الكهربائي للحاجز الجهدي مما يؤدي الى جعل فرق الجهد عبر المتلقي صغير فيقل سمك طبقة الاستنزاف. شكل (5– 7).

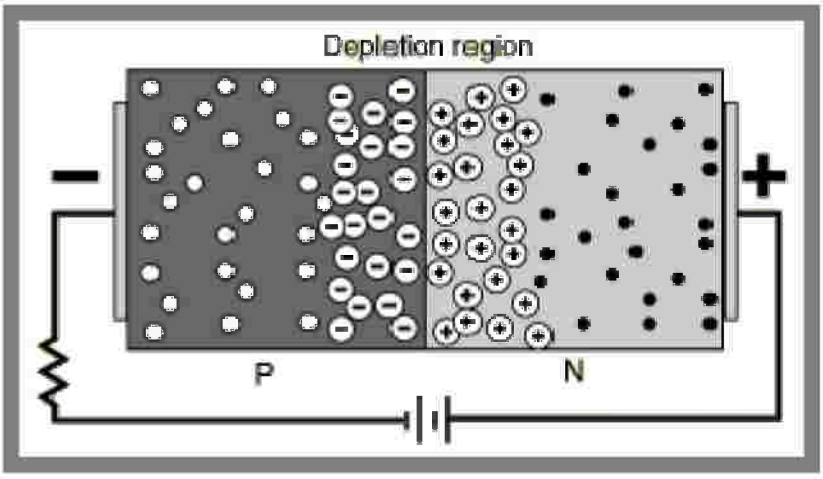
الانحياز الخلفي (العكسي) reverse biased : وفيه يربط القطب السالب للنضيدة الى P والموجب الى N. ولا يتولد تيار لابتعاد الالكترونات والفجوات عن الملتقى. مقاومة الثنائي تكون كبيرة وعرض طبقة الاستنزاف يكون كبير لأن الفولتية الموضوعة (ف$_{نضيدة}$) تولد مجالا كهربائيا باتجاه المجال الكهربائي للحاجز الجهدي مما يؤدي الى جعل فرق فرق الجهد عبر المتلقي كبير فتزداد سمك طبقة الاستنزاف. شكل (5– 8).

شكل (5– 7) الانحياز الامامي



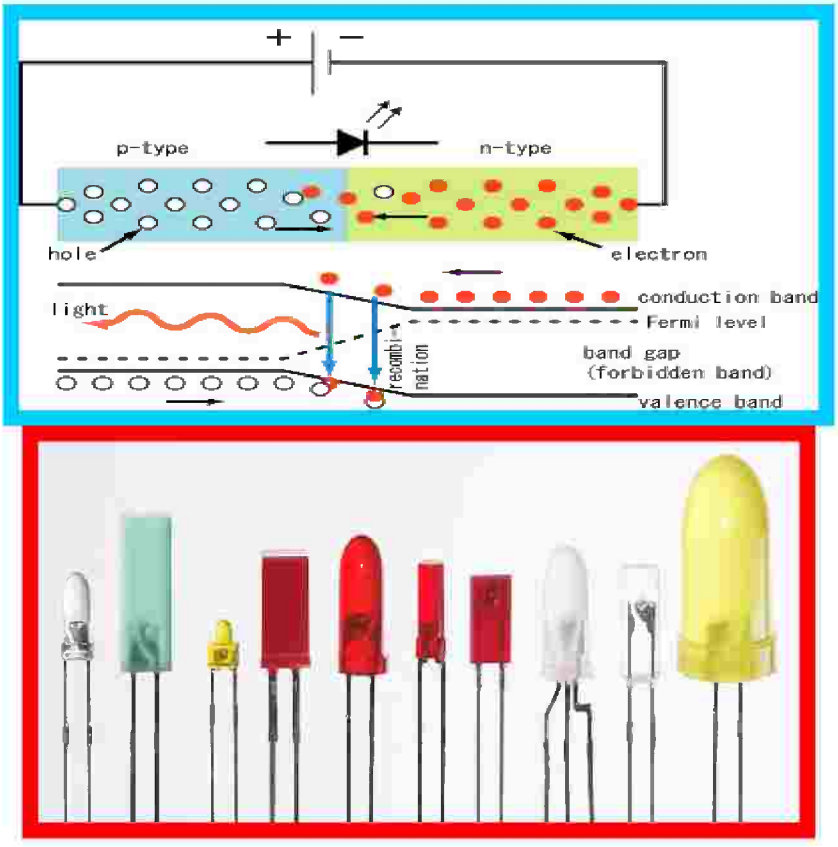
كواشف اشباه الموصلات وهي الكواشف التي يكون حجمها الحساس من مواد شبه موصلة مثل الجرمانيوم المشوب بالثاليوم اوالجرمانيوم عالي النقاوة .تستخدم لمعرفة نوع العناصر النزرة في أي نموذج يتكون من نظائر مشعة مختلفة ويكون المطلوب الحصول على تركيز كل نظير مشع على حده ، ويتميز هذا النوع من الكواشف بأن مقدرته على الفصل عالية جداً لمختلف النظائر المشعة إلا أن كفاءته النسبية لتسجيل أشعة جاما أقل فى حالة الكواشف الوميضية. تتفوق كواشف الحالة الصلبة من اشباة الموصلات (السيليكون) لأغراض الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة (بروتونات ألفا ...) على الكواشف الوميضية .

شكل (5– 8) الانحياز العكسي



ولكنه مع ذلك تستخدم الكواشف الوميضية في اجهزة المسح لاشعاعي وتستخدم في هذه الحالة بلورات كبرتيد الزنك المنشط بالفضة أو النحاس أو بلورات يوديد السيزيوم المنشطة بالثاليوم أو الصوديوم .عداد الجرمانيوم عبارة عن دايود يتكون من وصلة ثنائية من PN تكون فيه منطقة الاستنزاف حساسة للاشعاع المؤين وخاصة الاشعة السينية واشعة جاما .وعندما يطبق فرق جهد بالاتجاه العكسى بين طرفي الدايود فان المجال الكهربائي يمتد الى منطقة الاستنزاف.عندما تتفاعل الفوتونات مع الكاشف ضمن منطقة الاستنزاف تتولد حاملات الشحنة(الكترونات وفجوات) والتي تتحرك بين P وN بتأثير المجال الكهربائي وكميتها تتناسب طرديا معالطاقة الممتصة في العداد والتي تتحول الى نبضة للفولطية باستخدام المكبر الابتدائي Preamplifier الحساس.لان ثغرة الطاقة المحضورة للجرمانيوم قليلة جدا لذلك يجب ان يبرد العداد لتقليل تولد الحراة الى الحدود لمقبولة.وبعكس ذلك فان التيارات المتسربة نتيجة للحرارة ستولد ضوضاء تقلل من قدرة فصل الكاشف. شكل (5– 9).

شكل (5– 9). الدايود PN



5 – 4 طيف أشعة جاما Gamma-rays Spectrum

طيف أشعة جاما هو طريقة لقياس مقدار المواد المشعة في النماذج التي تحتوي على النظائر المشعة و التي تعتمد على طريقة الانحلال decay mode وثابت الانحلال decay constant والنشاط الإشعاعي activity .

لا تنبعث أشعة جاما عندما اضمحلال النواة المشعة إلى نواة أخري. وإنما تنبعث عندما تكون النواة في حالة متهيجة. فعندما تكون النواة في احد حالات تهيجها فإنها تنحل ويرافق انحلالها انبعاث أشعة جاما ، والتي تحمل الطاقة الزائدة.

عندما تصبح النواة الوليدة في المستوى الأرضي فلا تبعث أشعة جاما ومثل هذا الاضمحلال لا يمكن ملاحظته في طيف أشعة جاما. بعض من هذه النويدات المشعة هي:

H-3 , C-14 , P-32 , S-35 , V-49x
Fe-55x , Ni-59x , Ni-63 , Y-90 ،Sr-90
Te-127x , ، I-129x , Ta-179x , , Pb-205x Rn-222

على الرغم من أن بعض هذه النوى لا تبعث أشعة جاما فإنها قد تبعث الأشعة السينية. وبالتالي يمكن الكشف عنها من خلال قياس الأشعة السينية. في القائمة اعلاه فان هذه النويدات وضع بجنبها الحرف "x".

بعض النويدات تبعث أشعة جاما باحتمال(P) قليل عندما تضمحل. حساسية القياسات لهذه النويدات المشعة لأشعة جاما ضعيفة جدا وبالتالي لا يمكن أن تحسب بواسطة طيف أشعة جاما إذا كان تركيزها قليلا.

والمثال لهذه النويدات المشعة:

Isotope	P [%]	Isotope	P [%]
Pb-210,	4.5	Pu-238	0.04
Th-230,	0.38	Pu-239	0.006
U-234	0.12	Pu-240	0.04
U-238	0.055	Pu-241	0.001

من المهم أن نحصل على قياسات حساسة لكي يمكن قياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة ذات الكميات الصغيرة من المواد المشعة التي تبعث أشعة جاما أو الأشعة السينية . فمثلا حساسية قياسات العينات من البيئة البحرية مهمة لان النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة الموجودة في العينات عادة ما تكون منخفضة. في هذه الظروف فان عدم الدقة في النتائج يسيطر عليها الجزء الناتج عن التذبذبات الإحصائية. لقياس النشاط الإشعاعي الطبيعي تكون الحساسية مهمة لقياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة لاضمحلال لسلسلة ألاكتينيوم .عادة ما يكون النشاط الإشعاعي لهذه النظائر حوالي مائة مرة اقل من النشاط الإشعاعي لسلسلة اضمحلال اليورانيوم.

أول كاشف جرمانيوم كان متاح تجاريا في أوائل عام 1960هو كاشف يتكون من الجرمانيوم الذي يحتوي على شوائب الليثيوم Ge(Li). وقد استخدم على نحو شائع ان حتى عام 1980 من مساوئ الكاشف أنه يجب أن يبرد بالنيتروجين السائل دائما لعدم جنوح ذرات الليثيوم واتي تؤدي الى تلف الكاشف . وقد تم تطوير النوع الثاني من كاشف الجرمانيوم في عام 1970 ، يتكون الكاشف من الجرمانيوم عالي النقاوة ، HPGe. ولم يستخدم بشكل أولي حتى عام 1980، في وقت لاحق أصبح كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة متاحا على نطاق واسع.كل من كواشف HPGeوGe(Li) لهما نفس كفاءة الكشف وقدرة فصل الطاقة ، يمكن الاحتفاظ بكاشف HPGe في درجة حرارة الغرفة بين الاستخدامات.

الكواشف التي تستخدم للحصول على قدرة فصل عالية high-resolution لطيف أشعة جاما تستخدم كواشف أشباه الموصلات. هذه الكواشف تستخدم بلورات الجيرمانيوم التي يتم فيها تحويل طاقة أشعة جاما عن طريق التفاعل بين الفوتونات و بلورات الجيرمانيوم وإنتاج ألإلكترونات والبوزترونات بواسطة الظاهرة الكهروضوئية واستطارة كومتون وظاهرة تولد الأزواج .تفقد كل من الإلكترونات والبوزترونات طاقتها في تأين ذرات البلورة. وبهذه الطريقة تتشكل كل من الالكترونات والأيونات. في نهاية هذه العملية تتحول جميع طاقة أشعة جاما إلى طاقة أزواج الإلكترون - ايون. عدد أزواج الإلكترون - ايون يتناسب مع طاقة أشعة جاما التي ترسبت في البلورة. الإلكترونات يمكن أن تتحرك خلال البلورة أما الفجوات والتي تبقى في الذرة يمكن ملؤها من إلكترون من الذرة المجاورة ، وبهذه الطريقة يمكن أن تتحرك الفجوات عبر البلورة أيضا.

لإنتاج نبضة بسعة تتناسب مع طاقة أشعة جاما الممتصة في البلورة يجب أن تجمع الالكترونات والفجوات. ويتم ذلك عن طريق تطبيق مجال كهربائي عبر البلورة يكون قادرا على جمع ناقلات الشحنة الكهربائية على الأقطاب. الشحنة الكهربائية التي تجمع تناسب طرديا مع الطاقة المفقودة ، و بقياس سعة النبضة الكهربائية يمكن تحديد الطاقة ينبغي أن لا يسري أي تيار في البلورة في حالة عدم سقوط أي إشعاع عليها وبعكسه سوف تحصل ضوضاء الكترونية في قياسات الشحنات المتجمعة . لكي

نمنع سريان التيارات على سطح البلورة لا بد من أن تكون البلورة في حيز ذات تفريغ عالي.

يجب أن تكون البلورة ذات حجم مناسب لتتمكن من وجود عدد معقول من أشعة جاما الذي يتفاعل مع البلورة وتزداد حساسيتها لأشعة جاما.

من أكثر كواشف أشباه الموصلات شيوعا للتحليل الطيفي لطاقة أشعة جاما هو الجيرمانيوم. في الغالب فان إشكال البلورات على نوعين الأولى بلورة مستوية والثانية بلورة ثنائية متحدة المحور ذات نهاية مغلقة (**planar and closed-end coaxial crystals**) كواشف البلورة الثنائية المتحدة المحور يمكن جعلها ذات حجم كبير ولكن البلورات المستوية يكون مجالها الكهربائي منتظما ولها كفاءة جمع عالية لناقلات الشحنة .

يكون كاشف البلورة الثنائية بشكل اسطواني كبير الحجم يسمى الشكل الهندسي له بمتحد المحور coaxial geometry ، سطحه الخارجي بمثابة القطب الكهربائي الأول والجزء الاسطواني المركزي القطب الكهربائي الثاني ، ويطبق فيما بينها جهد عالي. ترسب أشعة جاما طاقتها في الجيرمانيوم وينتج عن ذلك زوج من الإلكترون– فجوة، الإلكترونات والفجوات تسلك كشحنات موجبة وأخرى سالبة والتي تجمع على الأقطاب نتيجة للجهد المطبق بينهما. كمية الشحنات المتجمعة تتناسب مع كمية الطاقة المترسبة في الكاشف ، وبالتالي مع طاقة أشعة جاما التي سببت ذلك .

الكاشف المتحد المحور هو الكاشف المثالي لغرض تعظيم حجم الكاشف من أجل امتصاص أكبر كمية ممكنه من أشعة جاما. وهناك أقطاب كهربائية لها نقاط اتصال في داخل وخارج الشكل الهندسي المسمى المحور المحوري. ونظرا للشكل الهندسي للكاشف ، فان زوج الإلكترون – فجوة ينتقل مسافات مختلفة للوصول إلى الأقطاب الكهربائية ، تبعا للمكان الذي يتم فيه تولدها . ولأن زمن جمعها غير ثابت ، فان شكل النبضات ليس ثابت أيضا.

وتربط أجهزة الكشف إلى محلل **متعدد القنوات multichannel analyzers** والذي يقوم بفصل النبضات وفقا لارتفاع النبضة. أشباه الموصلات تتطلب القليل من الطاقة لتوليد زوج إلكترون – فجوة مقارنة بالكواشف الوميضية مثل (NaI(Tl ،

وبسبب ذلك يكون كاشف الجيرمانيوم ذات قدرة فصل اكبر من الكواشف الوميضية NaI(Tl) وهذا يعني أنه إذا كان هناك العديد من طاقات أشعة جاما يجري تحليلها في وقت واحد ، فان كاشف الجيرمانيوم يقوم بفصل الطاقات بشكل جيد. نظرا لان تفاعلات أشعة جاما تعتمد بشدة على العدد الذري للمادة التي تفاعل معها أشعة جاما ، لذلك فان كفاءة كاشف الجيرمانيوم أقل بكثير من كفاءة الكاشف الوميضي NaI(Tl) لان العدد الذري الفعال للجيرمانيوم أقل. احد من عيوب كاشف الجيرمانيوم هو عملها في درجات حرارة النتروجين السائل للحفاظ على ضوضاء الحرارة في مستوى مقبول.

أهم جزء من المحلل المتعدد القنوات هو جهاز المحول التماثلي الى الرقمي (ADC) والذي يأخذ نبضة الجهد التماثلية من الكاشف ويحولها إلى إشارة رقمية يتناسب عددها بالقيمة مع ارتفاع النبضة الرقمية. تتضمن منظومة المحلل عدد من صناديق التخزين المتساوية العرض (تسمى القنوات) ، وعادة ما تصل إلى 8192 قناة كحد أقصى. عرض صناديق التخزين يقابل مدى محددة من الطاقة والتي يمكن أن تكون الفترة الفاصلة التي بمقدور المستخدم تحديدها ، وهذا يتوقف على التطبيق. فعلى سبيل المثال ، عند القيام بقدرة فصل عالية لطيف جاما باستخدام كاشف الجيرمانيوم ، فيمكن جعل كل قناة تمثل عرض0.5 كيلوالكترون فولط. إلنبضات القادمة من (ADC) تخزن في مختلف المواقع للقنوات ، وفقا لأحجامها. فمثلا ، إذا كانت القيمة العددية للنبضات من (ADC) تناظر الطاقة 250 كيلوالكترون فولط ، فان عدة واحدة ستخزن في موقع قناة 500 (بافتراض 0.5 كيلوالكترون فولط / قناة مذكورة) ، واذا كانت النبضة الثانية من (ADC) تقابل طاقة 1000 كيلوالكترون فولط فان العد سيخزن في القناة رقم 2000. بعد العد للعينة المطلوبة لفترة زمنية محددة مسبقا ، فان مخرجات التحليل يمكن عرضها على شاشة لانبوب ألاشعة الكاثودية CRT أو تطبع أو ترسم. المخرجات الكاملة لكل قناة واخرى channel-by-channel سوف تسجل قائمة لكل قناة من 1 إلى أكبر عدد ممكن من القنوات المستخدمة إلى جانب العدات التي تراكمت في كل قناة. وعند رسم النتائج قيمكن الحصول على منحنى للعدات كدالة للقناة ، طاقات أشعة جاما

يمكن تحديدها بالنظر الى الذروات التي بشكل توزيع جاوسي يسمى بالذروات الضوئية (photopeaks) و تتركز على القناة التي تطابق طاقة محددة. النظام المثالي لة استجابة خطية اي ان الذروة المركزه حول القناة 500 في المثال السابق ، سوف تمثل طاقة 250 كيلوالكترون فولط لاشعة جاما ، والذروة المركزه حول القناة 2000 ، سوف تمثل طاقة 1000 كيلوالكترون فولط لاشعة جاما. المحلل المتعدد القنوات يستخدم بشكل شائع في التحليل الطيفي لأشعة جاما باستخدام كاشف الجيرمانيوم وكذلك يستخدم أيضا مع كاشف NaI(Tl) ذات قدرة الفصل المنخفظة . كما أنها كثيرا ما تستخدم لقياس طاقة الجسيمات المشحونة ، وخاصة جسيمات الفا التي تستخدم كواشف سيلكون الحاجز السطحي الشائعة الستعمال في تطبقات الفيزياء النووية وفي تقانات القياسات النووية الاخرى. كثير من تطبيقات هذه االكواشف يحددها مستوى الضوضاء االعالية ألتي تحصل في درجة حرارة الغرفة ، والتي تجعلها غير عملية في ظروف العمل القاسية (درجات حرارة اكثرمن 40 ^{0}C ، رطوبة عالية ، - - الخ) لذلك فهناك حاجة الى تطوير اكثر لغرض الحصول على كواشف شبة موصلة جديدة تقاوم هذة الظروف .

هناك نوع آخر من اشباه الموصلات والتي تم استخدامها للكشف عن أشعة جاما المنخفضة الطاقة والأشعة السينية وهي كواشف السيليكون. عددها ألذري اصغر مما هو للجيرمانيوم وكفاءته أقل لذلك فانة أقل فائدة للكشف عن طاقة اشعة جاما العالية.

وهناك عدد من كواشف اشباه الموصلات أقل شيوعا قدرة تحليل الطاقة لها سيئة poor energy resolution مقارنة مع كواشف الجرمانيوم والسيليكون ، ومع ذلك فقد استخدمت في بعض التطبيقات في مجال قياسات أشعة جاما. وهناك مثالان هما كواشف تلوريد الكادميوم ، CdTe ويوديد الزئبق (HgI_2) ، ذات الكفاءة العالية المرتبطة باعدادها الذرية العالية . خلافا لكاشف الجرمانيوم ، فيمكن لهذة الكواشف ان تعمل في درجة حرارة الغرفة.

محللات النبضة نوعان الاول محلل ذي قناة واحدة **channel analyser** **Single**، والاخر محلل متعدد القنوات **Multichannel analyser** هذا النوع

من المحلالات عادة ما تستخدم بالاشتراك مع بعض أجهزة الكشف المشار إليها أعلاه للحصول على القياسات الطيفية للطاقة مثل تحديد طاقات أشعة جاما أو جسيمات ألفا المنبعثة من العينة. تستخدم مع جميع الكواشف مميز إلكتروني discriminator ، وهو جهاز إلكتروني يرفض ألنبضات الكهربائية التي ينخفض مستواها عن المستوى المحدد سلفا للمميز . وهناك ومحلل ذي القناة الواحدة (SCA)تستخدم مميزين اثنين بدلا من واحدة. التميز يحصل للنبضات العليا والسفلى التي يغذيها المضخم الى المحلل ، وإذا كان ارتفاع النبضة يقع بين المستوى السفلي والعلوي للمميز فمثل هذة النبضة تسجل بشكل عدات. مستويات الجهد لمستوى المميز يمكن ان يعدل بحيث ان الفجوة بينهما تقابل مجموعة من ارتفاع النبضة عند مدى ثابت للطاقة.

إذا كان القياس يهتم بتقييم طاقة منفصلة لاشعة جاما القادمة من نويدات مشعة محددة، فيحدد المميز بحيث انة يسمح بتسجل مجموعة ألنبضات التي تطابق طاقة أشعة جاما ذات الاهمية. ومع ان أشعة جاما الناتجة عن الانتقال المحدد للاضمحلال لها طاقة منفصلة ، وهناك انتشار إحصائي للنبضات القادمة من الكاشف و الأجهزة الإلكترونية المرافقة فيجب أن تكون الفجوة بين المميزات كبيرة بما يكفي لتشمل أكثر من هذه النبضات. جهد الفجوة بين المميزات والذي يطابق مدى معين من الطاقة كثيرا ما يشار له بنافذة الطاقة. بتغيير موقع النافذة (أي تغيير مستويات الجهد للمميزات) فأنه من الممكن قياس أشعة جاما لمختلف الطاقات ،

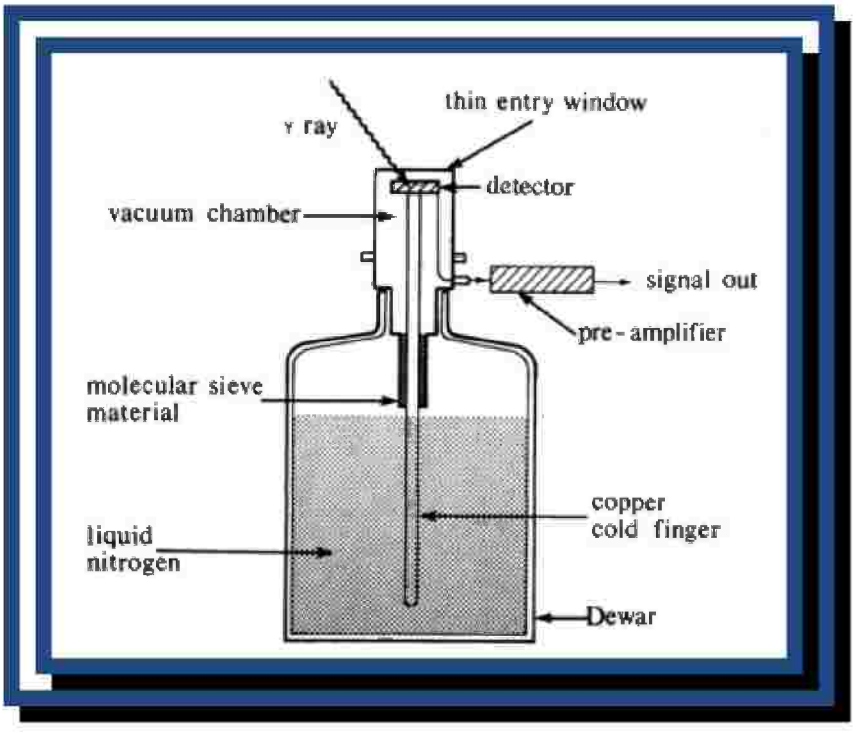
ولكنها عملية شاقة لمحاولة قياس طاقات مختلفة من أشعة جاما المنبعثة من العينة المشعة باستخدام المحلل ذي القناة الواحدة. لمثل هذه الحالات يكون استخدم نظام المحلل المتعدد القنوات أكثر كفاءة.

مدى حساسية ألكاشف يحدده مدى طاقة أشعة جاما التي تسجل في الكاشف باحتمال معقول ففي حدود الطاقة الواطئة تعتمد حساسية ألكاشف على سمك طبقات الامتصاص بين سطح الدخول للكاشف والحجم الحساس للبلورة. وعادة فان التوهين في هذه الطبقات يكون في نافذة الكاشف والأقطاب الكهربائية. القطب الكهربائي الموجب يصنع بزرع ذرات الليثيوم في سطح سمكة نحو 0.5 ملم. هذه الطبقة لا تكشف

عن الأشعة ذات الطاقة دون 40 كيلوفولط. ويمكن تصنيع طبقة ذات سمك 0.3 ميكرومتر للقطب الكهربائي السالب. إذا سقطت أشعة جاما على البلورة من خلال هذا القطب الكهربائي فان الحد الأدنى للطاقة الذي يمكن الكشف عنة يقل إلى 5 كيلوفولط. الطاقة العالية لأشعة جاما أكثر اختراقا وربما تمر في البلورات الرقيقة دون التفاعل معها.

تتكون منظومة طيف اشعة جاما للمادة شبة الموصلة من الكاشف والذي يحتوي على وعاء النيتروجين السائل وهو وعاء يستخدم لحفظ النيتروجين السائل لغرض التبريد. نظام التبريد الشديد (Cryostat) عبارة عن نظام تبريد وتفريغ يحفظ الكاشف (الجرمانيوم- ليثيوم أو الجرمانيوم فائق النقاوة) فى درجة حرارة منخفضة لعدم تلف الكاشف و لتقليل الضوضاء الحرارية أو الضوضاء إلاكترونية.شكل (5–10 أ).

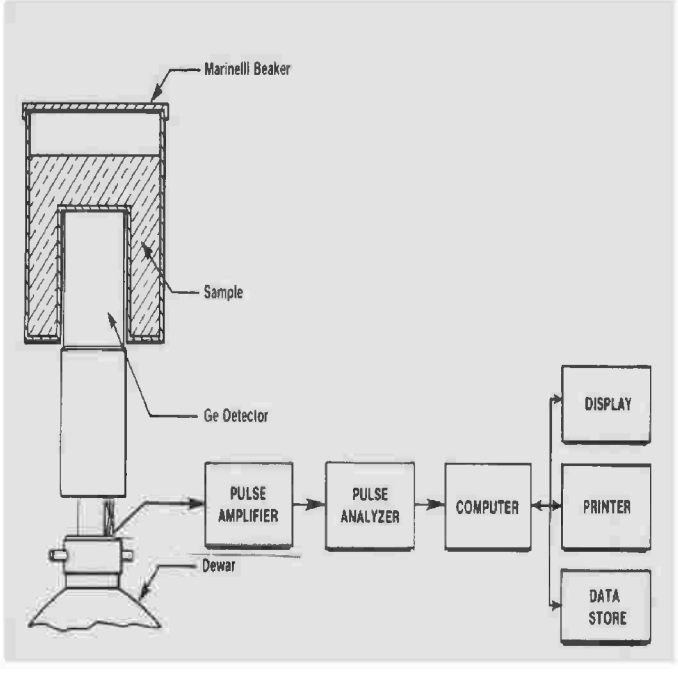
شكل (5–10 أ). منظومة نظام التبريد الشديد (Cryostat)

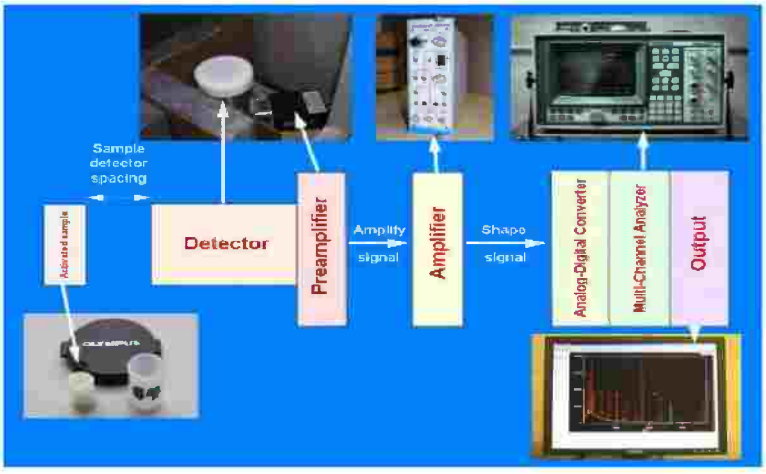


أهم اجزاء المحلل متعدد القنوات ، المحول الرقمى (ADC) الذي يقوم بتحويل النبضات الخطية إلى أرقام تخزن فى ذاكرة الكمبيوتر ذات القنوات المتعددة حيث تكون هذه القنوات معرفة ومرقمة ومرتبة حسب طاقة هذه النبضات . يعرض الطيف الجامي على شاشة حاسب حيث يمكن رؤية وطباعة رسوم المنحنيات للقمم فى القنوات الناتجة كلاً 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 .شكل (5– 10 ب).

لذا فإن كفاءة العد لمعظم الأجهزة أقل من 100٪ لان جزء من الكمية الكلية المتحللة فى العينة هو الذى يتم عده فقط. العوامل التي تؤثرعلى كفاءة العد فى الأجهزة المختلفة :

شكل (5–10 ب). مخطط لمنظومة طيف اسعة جاما





1- امتصاص الاشعاع:

عند قياس عينة ما يمتص جزء من الإشعاع داخل العينة نفسها ، وتتناسب الكمية المتصة داخل العينة طردياً مع تركيز الذرات المشعة فى العينة مع ثبات جميع الظروف الأخرى مثل نوع مادة الامتصاص والشكل الهندسى الذي يعتمد على الزاوية بين مصدر الإشعاع والكاشف(الشكل الهنسي) تساوي 4π أي ان العداد يحيط بالمادة من معظم الجهات أو ان الزاوية أقل درجة (2π) أى ان الشكل الهندسى يقل بمعدل النصف فى حالة المصادر الصغيرة المشعة التي توضع على بلورة الكاشف.

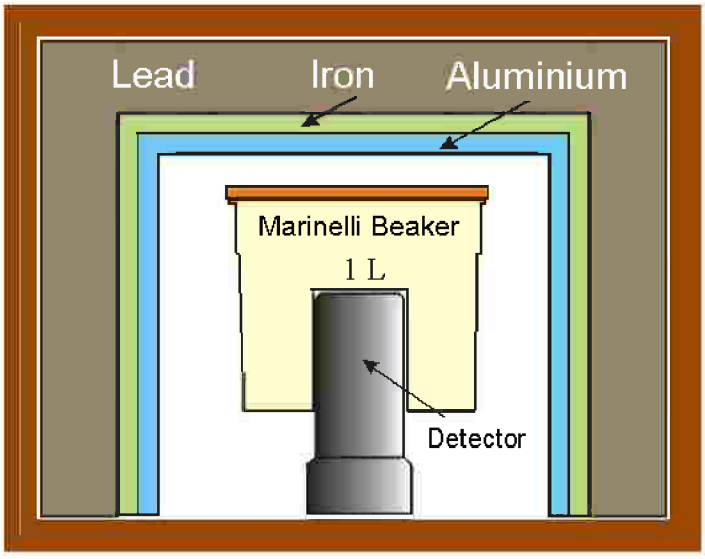
كما أن الامتصاص الذاتى يتناسب عكسياً مع حجم العينة لذا فإنه لتقليل الخطأ الناتج عن الامتصاص الذاتي يجب أن تكون كل القياسات والأحجام ثابتة من العينات مع تقليل الحجم إلى أقل ما يمكن بالتبخير أو الترسيب الكيميائى . وتتضاعف كفاءة العد إذا كانت العينة فى وضع هندسى يغطى بلورة الكاشف بالكامل ويمكن الوصول لهذا الوضع باستخدام وعاء (مارنيللى) وهو إناء من البلاستيك أو أية مادة ذات معامل امتصاص ضئيل لأشعة جاما . شكل (5– 11). يوضع الوعاء حول العداد بحيث ان الوعاء يدخل في البلورة وتصبح البلورة فى هذه الحالة كأسطوانة محورية موازية للجدار الخارجى للوعاء ويمتلئ الوعاء عادة بمادة متجانسة حجمها متغير يتراوح بين 0.200 - 1 لتر. باستخدام حجم معين من العينات المطحونة والتي توضع فوق العداد لغرض قياس نشاطها الإشعاعى يمكن

التعرف على العناصر المشعة في ألعينة وكميتها. فى حالة استخدام عينات عيارية تحتوى على نفس النظائر المشعة الموجودة فى العينات المراد قياسها يراعى أن تكون هذه العينات مماثلة لنفس حالة وحجم العينة

2- تأثير الخلفية الاشعاعية :

لا يمكن قياس النشاط الإشعاعى لاي نظير مشع بدون قياس الخلفية الاشعاعة (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.

شكل (5– 11) وعاء (مارنيللى)



ويؤدى إلى خطأ فى العد ما لم يقدر ويطرح من العدات الكلية حتى يمكن الحصول على صافى العدات الفعلية Net count . وقد تتغير الخليقة الاشعاعية أثناء العد لذا يجب تقديرها فى بداية العد ونهايته أو بين عد العينات .يعود وجود الخلفية الاشعاعية الى مصادر طبيعية الإشعاع مثل الأشعة الكونية، النظائر المشعة الطبيعية المحيطة بالعداد مثل الرصاص والكربون الموجود فى الخشب أو البوتاسيوم ، اوالمصادر

الصناعية للإشعاع مثل المواد المشعة المخزونة فى المختبرات المجاورة. فى حالة التراكيز متناهية الصغر للنظائر المشعة يجب الإقلال من الخلفية الإشعاعية قدر المستطاع لذلك تستعمل الدروع الواقية حول الكاشف الإشعاعى وعادة يستخدم عنصر الرصاص فى هذه الدروع لتغلب على مشكلة الخليفة يجب إحاطة أنبوبة الكاشف بكتل من الرصاص على أن يكون نقى وخالى من سلسلة اليورانيوم المشع ، فإن تكلفة هذه الدروع الواقية تكون عادة عالية حيث يقل هذا الخطأ المحتمل بحوالى 15٪ .أو يمكن تقليل الخطأ المحتمل بوسائل إحصائية عن طريق بزيادة زمن عد للعينة.

تتألف منظومة طيف أشعة جاما شكل (5– 12).

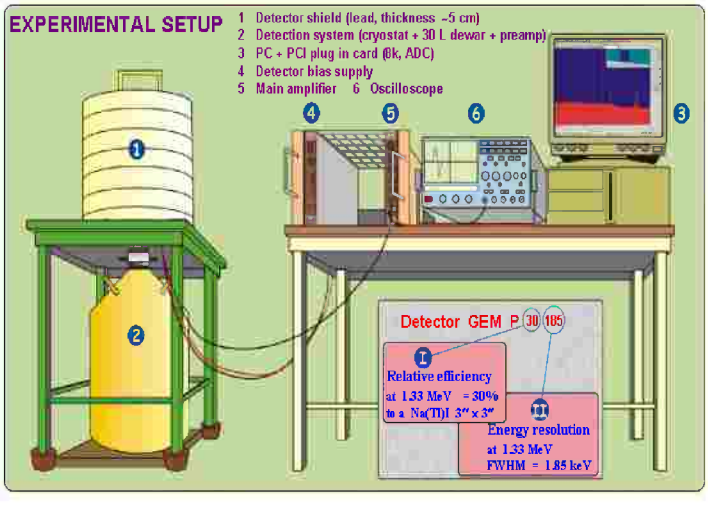
- من كاشف داخل وعاء يملأ بالنيتروجين السائل
- التدريع وهو عبارة عن اسطوانة من الرصاص السميك
- ألالكترونيات الأزمة لكشف وتحليل النبضات
- وأجهزة تخزين وتحليل الأطياف

وهناك نوع آخر من عدادات الجرمانيوم النقي المحمولة شكل (5– 13).

خواص كل من الكاشف والتدريع هي التي تؤثر على حساسية القياس للمستويات المنخفضة. معدلات العد تكون في هذه الحالة صغيرة ، ولذا نحتاج إلى متطلبات خاصة لتحليل لنبضات. كما ينبغي استخدام برمجيات قياسية لتحليل الأطياف ، والشرط الوحيد للكاشف هو قدرته على تحديد موقع وتحليل الذروات الصغيرة بشكل صحيح.خصائص الكاشف التي تؤثر على حساسية القياسات هي :

- إبعاد البلورة ،
- موقع البلورة ،
- التحليل ،
- النسبة بين المجموع إلى الذروة (total-to peak ratio) .

شكل (5– 12) مخطط لمنظومة عداد الجرمانيوم



شكل (5– 13)عداد الجرمانيوم المحمول

يمكن إجراء قياسات حساسة باستخدام كواشف ذات بلورات كبيرة ، والتي توضع في أقرب مكان ممكن من سطح الكاشف. أشعة جاما يمكن أن تدخل البلورة باحتمال كبير.التحليل الجيد مهم جدا لأن الذروة الضيقة من الأسهل أن تقع على خلفية مستمرة.

من الخواص الأخرى للكاشف في غاية الأهمية هي تحليل النبضات والتي توضح عرض الذروة عند منتصف الحد الأقصى (the peak width at half of its maximum) وتسمى قدرة التحليل و تعتمد على الطاقة وتكون أصغر عند الطاقة المنخفضة وللبلورات الصغيرة للكاشف.

قدرة التحليل تحددها الضوضاء للكاشف والناتجة عن التيارات المتدفقة بين الأقطاب الكهربائية في حالة عدم وجود إشعاع.

من العوامل الأخرى التي تؤثر على قدرة التحليل هي كفاءة جمع النواقل ، وهي نسبة احتمال تسجيل أشعة جاما في أي مكان في الطيف ، واحتمال سجلها في طاقة الذروة الكلية. وهي دالة للطاقة ، ففي الطاقات ألأكبر تكون النسبة أكبر ، لأن التفاعل بين أشعة جاما والبلورة ضعيفا ، وبالتالي فان احتمال تسجيل أشعة جاما في طاقة الذروة الكلية صغير ولكنه لا يمكن أن يكون أقل من 1 .

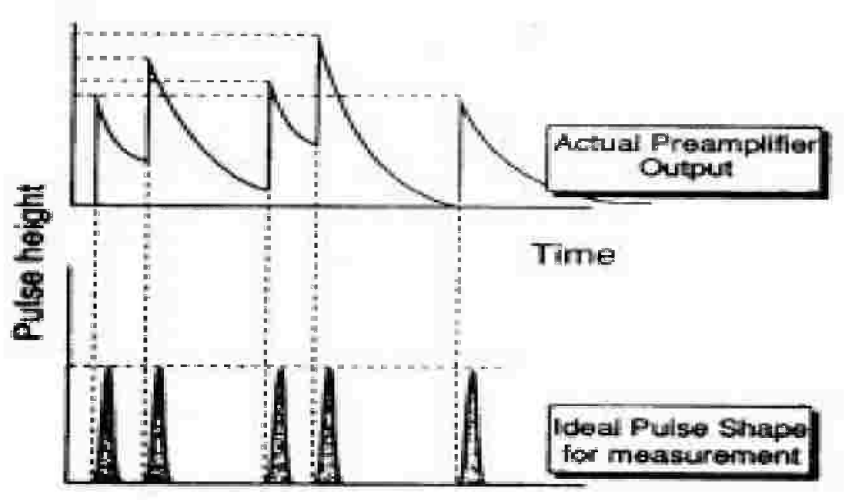
تولد البلورات الكبيرة مقدار صغير من طاقة الذروة الكلية لان احتمال التسجيل في كامل ذروة الطاقة أعلى. النسبة بين المجموع إلى الذروة الواطئة تعني أن الخلفية ناتجة عن استطارة كومتون للطاقات العالية لأشعة جاما.

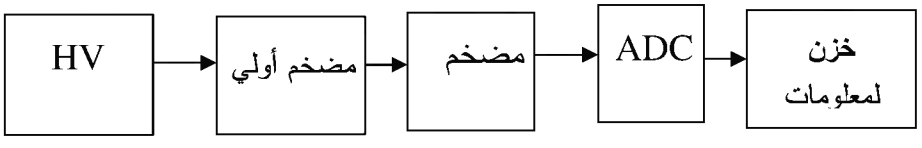
مخرجات كاشف أشعة جاما هي كمية الشحنات الكهربائية التي تتناسب مع كمية الطاقة المترسبة في الحجم الحساس للكاشف وتقوم الالكترونيات بهذه القياسات ومن ثم تخزين المعلومات. في منظومة المطياف الرقمي المتطور يتكون شكل النبضة في مخرجات المضخم عن طريق تحولها إلى شكل رقمي من قبل منظومة التحويل من التماثلي إلى الرقمي (ADC) ذات السرعة العالية وان ارتفاع النبضة يحسب عدديا ومن هذه الأرقام يتم تشكيل الطيف .في النظام التماثلي للطيف فإن النبضات من المضخم الابتدائي ترسل إلى المضخم والى ADC. المضخم يقوم بتشكيل النبضات

ليمكن ADC من قياس ارتفاعها . البيانات تنتقل من ADC لتخزن في ذاكرة الحاسب حيث يتم تشكيل الطيف. يقوم ADC بقياس ارتفاع النبضة ، ويولد عددا ، يتناسب مع ارتفاع النبضة ، وينقلها إلى الكومبيوتر ،حيث يتم تخزين البيانات. عدد القنوات تضبط بطريقة بحيث أن ذروتها تحتل بين 4 و 15 قناة. ويتبع ذلك أن عرض طاقة القناة الواحدة ما بين 0.25 و 1 كيلوفولط. شكل (5– 14) كذلك ينبغي تعديل ADC بطريقة بحيث أن أول قناة تقابل الطاقة صفرا. لأداء هذا التحويل فان ADC يحتاج زمنا محدودا.

يتوقف ذلك على نوع ADC وارتفاع النبضة الداخلة ، يتراوح الزمن بين بضع مايكرو ثانية وبضع عشرات المايكرو ثانية. خلال هذا الزمن فان ADC لا يمكن أن تقبل نبضات جديدة لمعالجتها. لذلك فان النبضات التي تصل إلى مدخل ADC خلال هذه الفترة لا يمكن معالجتها. ونتيجة لذلك فان هذه النبضات لا تسجل في الطيف

شكل (5– 14) مراحل تشكيل النبضات للقياس





5 - 5 تحضير العينات والنمذجة لمطياف أشعة جاما

يعتبر تحضير العينات بالشكل الصحيح من المواضيع الحاسمة في قياسات الخلفية الإشعاعية للنويدات المشعة طبيعيا أو ترسبات النظائر المشعة الصناعية وخاصة السيزيوم - 237 ويمكن تقسيم عملية تحضير العينات لقياسات السيزيوم - 237 إلى قسمين :

1- القياسات في الموقع:

اختيار العينة الذي يمثل التربة بشكل مقبول يمثل أفضل القياسات في الموقع لتكون بديلا عن عملية أخذ العينات وتحضيرها في المختبر لتحديد ترسب النظائر المشعة الصناعية في الموقع يستخدم عداد الجرمانيوم العالي النقاوة المحمول لقياس الطيف المنبعث من النظائر المشعة في التربة وعلى أعماق مختلفة ، وذلك بوضع العداد على بعد متر واحد عن سطح الأرض ويحدد النشاط التقريبي لذروة النويدة المراد قياسها من خلال قياس طيف أشعة جاما في الموقع وتستخدم طريقتين للقياس:

أ- القياس الذي يعتمد على توهين طاقة أشعة جاما في التربة

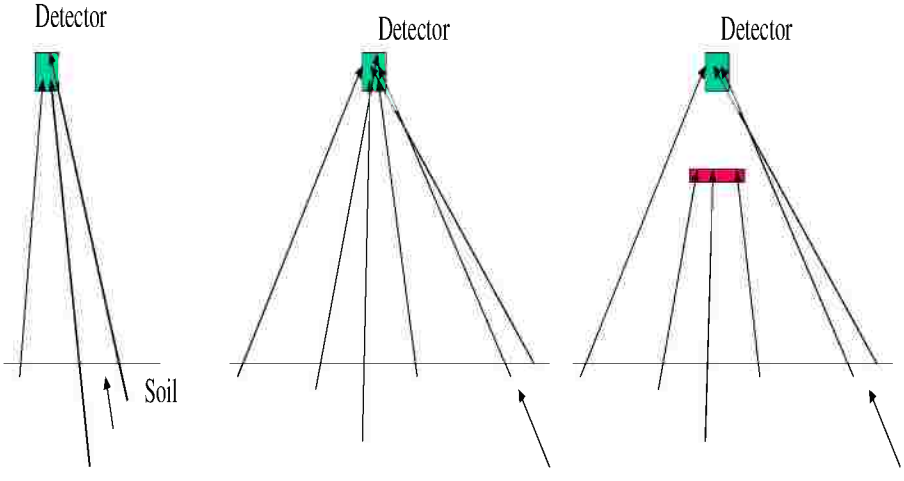
القياس الذي يعتمد على متوسط زاوية عمق انبعاث الأشعة التي يسجلها الكاشف .كما موضح في شكل (5– 15)

ب- حيث أن القياس يعتمد على الزاوية بين الكاشف وموقع النويدة المشعة.

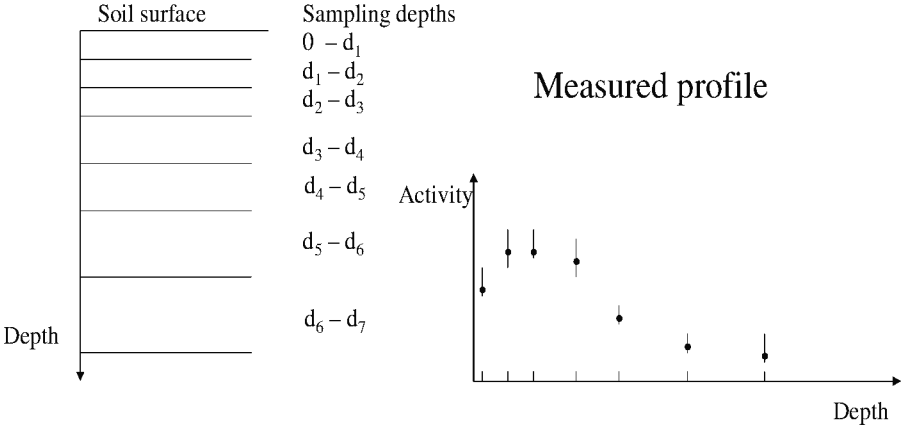
تستخدم أساليب مختلفة لجمع عينات من التربة لغرض تحديد النظائر المترسبة شكل (5– 17) هي :

أما في حالة اخذ النماذج لقياس النشاط الإشعاعي للنظائر الطبيعية فيستخدم جهاز نمذجة خاصة تصنع من معدن صلد (الحديد المقاوم للصدا) تكون بشكل اسطواني ويتصل بها ذراع للتدوير والضغط. شكل (12– 18)

شكل (12– 15)الزاوية بين الكاشف والنظير المشع في التربة



شكل (5– 16) النشاط الإشعاعي كدالة للعمق



شكل (5– 17) قوالب مختلفة لنمذجة عينات النظائر الطبيعية المشعة

تأخذ العينات من الموقع حيث تكون الأرض مستوية، مسطحة،بعيدة عن الأشجار ، رفع الحشاتش والحصى ثم مجانسة النموذج والنخل بواسطة منخل خاص. بعد اخذ العينات يتم وزن العينة في المختبر ، تجفيفها في درجة حرارة الغرفة ثم التجفيف بفرن درجة حرارته بين 50- 60 ^{0}C للحصول على وزن الكتلة الجافة، ثم وضعه في وعاء مارنيلي وغلقه جيدا واحاطتة بالنايلون والقار لغرض عدم نفوذ الرادون ووصوله إلى حالة الاتزان.

ويحسب البرنامج الخاص بتحليل المساحة تحت المنحنى وكفاءة الكاشف لغرض حساب النشاط الإشعاعي لكل طاقة من الذروات ويتم تصحيح النشاط الإشعاعي من التداخلات

شكل (5– 18) معدات اخذ نماذج التربة للنظائر الطبيعية

Standard Cross Handles

Standard Normal Auger

High-carbon steel teeth, stainless steel cylinder and carbon steel bail

Standard Extensions

ويمكن تعين النظائر المشعة في حالة الاتزان الإشعاعي بالشكل التالي :

- سلسلة اضمحلال اليورانيوم يمكن تعينها من النظائر:
- Pb-210 ,Ra-226 ,وBI-214 ,
- سلسلة اضمحلال الثوريوم يمكن تعينها من النظائر: Ra-228, Th-228
- النظائر الطبيعية الأخرى K-40, Be-7
- نويدات Cs-137 المشعة بسبب المتساقطات العالمية

الأنشطة الإشعاعية للسلاسل الطبيعية المضمحلة تحسب من أنشطة الوليدات ذات عمر النصف القصير (باستثناء الرصاص - 210).

لحساب النشاط الإشعاعي لليورانيوم –238 في العينة لابد من تقدير النشاط الإشعاعي لمكونات النظائر الطبيعية . ثم طرح الأشعة السينية للثوريوم من الذروة ذات الطاقة 93 كيلو إلكترون فولط وذروة أشعة جاما للراديوم ذات الطاقة 226 كيلو الكترون فولط يجب تعينها

يمكن حساب الترسيب على سطح الأرض إذا كان النشاط الإشعاعي يتناقص بسرعة كافية مع العمق. فان النشاط الإشعاعي في عينة المختبر يعاد حسابه الى النشاط لكل عينة من عينات السطح ثم يجمع مع العينات التي جمعت في أعماق مختلفة حسب المعادلة التالية :

$$A = \sum_j a_j \frac{m_j}{S_j}$$

حيث ان :

aj كثافة النشاط في عينة المختبر والتي جمعت في عمق j ،

mj الكتلة الجافة من التربة ، والتي جمعت في عمق j ،

Sj المساحة التي جمعت منها التربة على عمق j

نتائج التحليل الطيفي لأشعة جاما للعينات البيئية تعطى بدلالة كل وحدة من كمية النموذج. للوصول إلى النتائج التي تمثل جميع المواد التي تخضع للنمذجة

و التي قد لا تكون متجانسة ينبغي استخدم الأساليب الإحصائية لتخمين الصفة التمثيلية للنموذج. ويتم ذلك عن طريق :

1- أخذ جزء من النموذج من مواقع مختلفة. عدد أجزاء النماذج تعتمد على كمية المواد التي خضعت لأخذ العينات والتي يتوقع أن تكون متجانسة.

2- ينبغي أن تكون مكونات العينة التي تم جمعها قد تمت مجانستها بشكل جيد .

3- من مزايا التحليل بطيف أشعة جاما هو إمكانية قياس نماذج كبيرة نسبيا ، تصل إلى عدة كيلوغرامات ، ولذا فإنه من الأسهل تحضير نماذج ممثلة للعينة باجمعها.

عادة ما يتم تعير مطياف أشعة جاما لشكل هندسي قياسي و يفترض ضمان تجانس مكونات النموذج ، ولكي نضمن تجانس مكونات الاجزء المراد تحليلها من العينة فبعد تجفيفها ، ينبغي مجانستها بالسحق أو الطحن. ومن غير المستحسن طحن النموذج لمسحوق ناعم. عملية التجانس تتوقف على ابعاد النموذج ، وكذلك على معامل التوهين لاشعة جاما في النموذج. ولا يتوقف على طاقة أشعة جاما فقد يبدو النموذج متجانسا عند الطاقة 1 MeV ، وليس بالضرورة أن يكون متجانسا عند الطاقة 50 keV. عندما يكون معامل التوهين لاشعة جاما المنبعثة من النويدات المشعة في جزيئات العينة كبيرا ينبغي ان يطحن النموذج الى دقاتق ناعمة .

بعد تحضير مواد النموذج فإنها تنتقل إلى وعاء خاص في معظم الحالات هو بيكر مارنييلي ويفضل أن يملا باجمعة بالنموذج لكي يكون بنفس الشكل الهندسي لمصادر المعايرة. عندما يملأ البيكر ينبغي الحرص على توزيع النموذج بالتساوي على الجزء السفلي منة لتجنب عدم التجانس ثم يضغط للوصول للشكل النهائي والحصول على سطح مستو يقلل من حجم العينة و بالتالي يزيد من كفاءة العد. عندما تكون كمية النموذج صغيرة ، فإنه من المفيد استخدام وعاء مارنييلي صغير أو خلط النموذج مع مادة أخرى عديمة النشاط الإشعاعي.

خسائر العد:

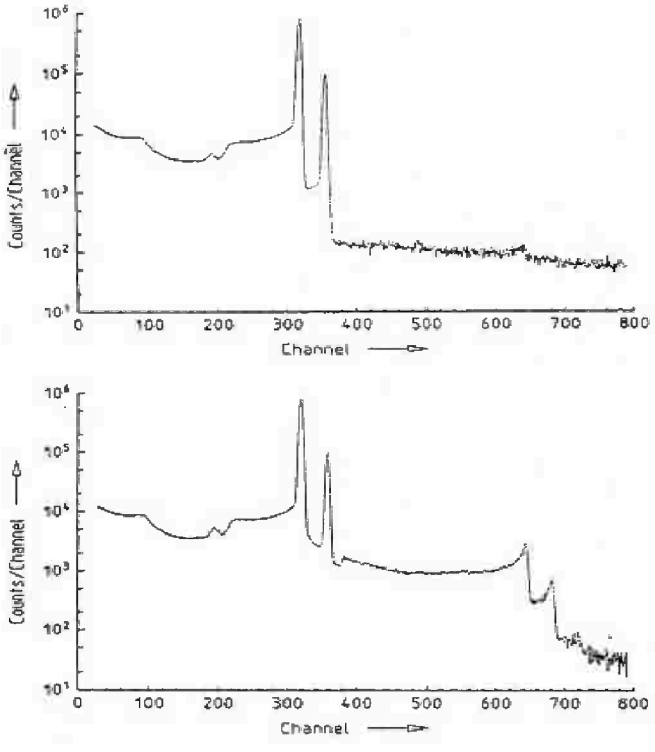
يوجد نوعان من الخسائر في عد طيف أشعة جاما هما خسائر زمن الخمود dead-time والخسائر الناجمة عن التجميع pile-up . خسائر زمن الخمود تحدث عند ADC وتعوض بإغلاق الساعة خارج الزمن التي يقيس مدة زمن حساب acquisition الطيف. عملية التجميع تحدث في المضخم عندما تصل النبضة التالية قبل انتهاء النبضة السابقة. أهمية هذه الخسائر تحدد بواسطة معدل العد وزمن تشكيل المضخم. عندما تكون النبضات قصيرة التجميع فإن الخسائر تكون أقل احتمالا. إلى جانب الخسارة في النبضات يحدث تشوه فيها ويتجلى هذا الأثر في شكل (5– 19). نتيجة لذلك فان شكل الطيف يتأثر وتتكون ذروات زائفة في الطاقات التي تقابل مجموع الطاقات ذات الذروات الأقوى في الطيف.

كفاءة الكاشف

عندما تتفاعل أشعة جاما بالظاهرة الكهروضوئية فان جميع طاقتها تمتص ضمن البلورة لان مدى الإلكترون صغيرا. إذا كانت أشعة جاما أحادية الطاقة monoenergetic فان جميع النبضات المتولدة تكون لها ارتفاعات متساوية وتسجل في الطيف بشكل ذروة ضيقة شكل (5– 20).

شكل (5– 19)طيف ^{57}Co عند معدل عد واطئ (أ) وعند معدل عد عالي (ب)

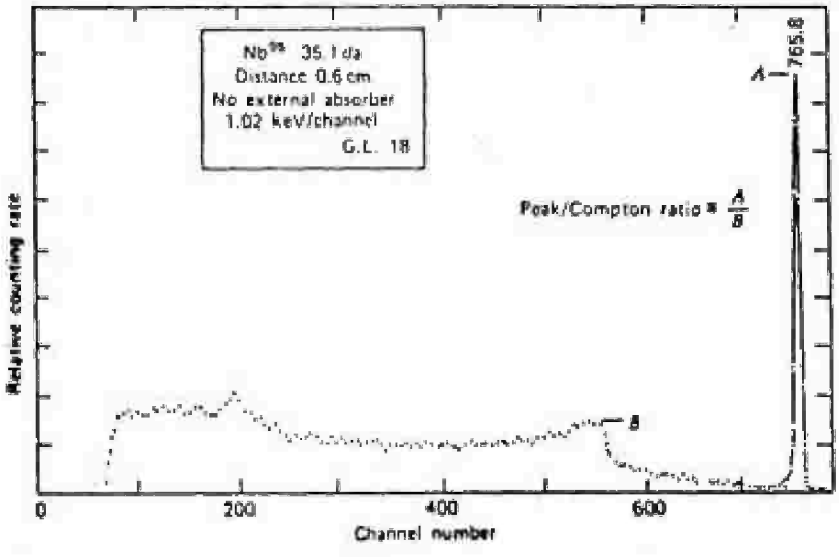
أ



ب

أما تفاعل أشعة جاما بظاهرة استطارة كومتون فان الجزء الأول من طاقتها تمتص بالتفاعل مع مادة البلورة.أما الجزء الثاني فأنة يتشتت و يهرب من البلورة أو قد يتفاعل مرة أخرى مع البلورة .

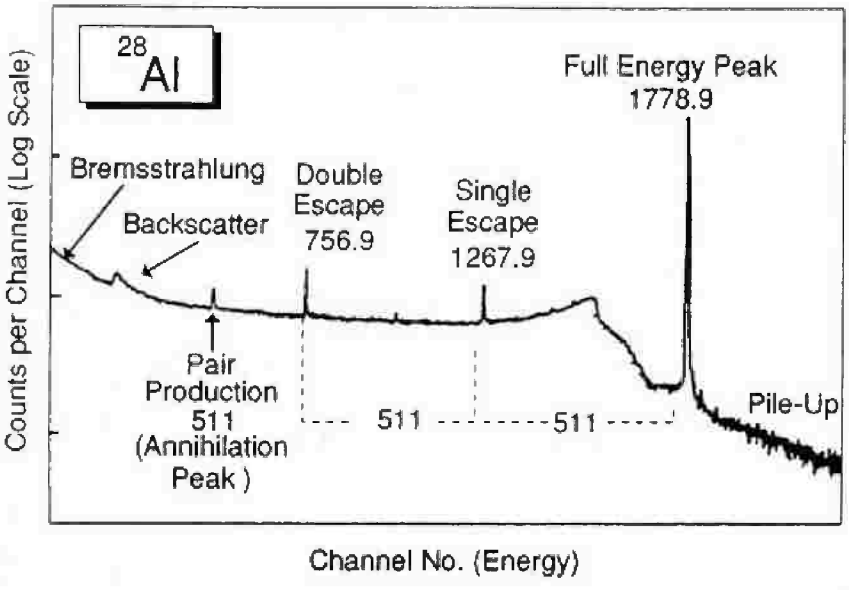
شكل (5– 20) الذروة الضيقة في الطيف



وإذا حصل نتيجة التفاعل الثاني امتصاص ضوئي photo absorption فان طاقة أشعة جاما سوف تترسب باجمعها وتولد نبضة كهربائية تمثل جميع طاقة أشعة جاما. أما إذا حصل للتفاعل الثاني استطارة كومتون مرة أخرى فان جزء من طاقة أشعة جاما يهرب من البلورة أي أن طاقة أشعة جاما الأولية لا تمثل مجموع الطاقة. لذلك يرافق ذروات طيف أشعة جاما طيف مستمر ينشأ عن التفاعل والامتصاص الجزئي للطاقة.

يحدث توليد الأزواج Pair production في الطاقات العالية وعندما يكون تشتت كومتون التفاعل السائد. أن ظهور ظاهرة توليد الأزواج في الحجم الحساس تؤدي إلى تسجيل في الأطياف بشكل ذروة هارية. هذه القمم تمثل الأحداث التي عندها واحد أو أكثر من ظاهرة فناء annihilation أشعة جاما تهرب من الحجم الحساس. لذلك تظهر في الطيف ذروتين عند الطاقة 511 و 1022 كيلو فولط بأقل من الطاقة الكلية للذروة. شكل (5– 20).

شكل (5– 20).الذروات الهاربة Escape Peaks في الطيف



إذا كان هناك أكثر من مصدر فان ألطيف المقاس هو مجموع الأطياف من كل مصدر. وبوجه عام ، فإن الطيف يتألف من خلفية مستمرة وفوقها ذروة حادة. المعلومات المفيدة الوحيد والتي استخرجت من الطيف تكون لها علاقة بالذروة. هذه المعلومات تعتمد على :

- موقع الذروة : هو الذي يحمل معلومات عن المصدر الباعث لأشعة جاما
- مساحة الذروة: والتي تعتمد على عدد أشعة جاما و كمية الإشعاع المنبعثة من المصدر والتي تصل بلورة الكاشف
- عرض الذروة: يعطي بعض المعلومات عن مدى موثوقية البيانات المستخلصة من الذروة وبشكل أدق فعند طاقة محددة كلما كان عرض الذروة اقل فان قدرة الفصل للكاشف جيدة.

للتعبير كميا عن العلاقة بين الكشف عن الإشعاعات والكمية المنبعثة لابد من وجود كمية تصف احتمال تسجيل كامل طاقة الذروة لأشعة جاما. العلاقة الرياضية بين معدل انبعاث أشعة جاما من العينة وما يقابلها من معدل العد للذروة هي :

$$A.b(E).\ \varepsilon\ (E) = n(E)$$

حيث أن :

A النشاط الإشعاعي ، وهو عدد من الاضمحلال في الثانية للعينة .

b(E) هو احتمال انبعاث أشعة جاما ذات الطاقة E.

حاصل الضرب A.b(E) ، يصف عدد أشعة جاما التي تتولد في العينة لكل ثانية

ε (E) هو الكفاءة ،

n(E) يساوي معدل العد للذروة في الطاقة E ،

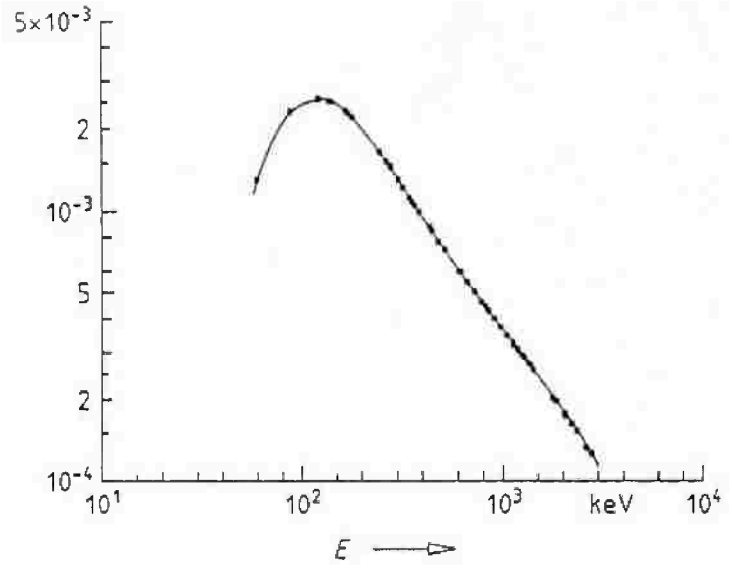
أي أن الكفاءة تصف احتمال تسجيل أشعة جاما التي تنبعث من الاضمحلال في العينة في كامل طاقة الذروة. وهذه هي الكمية الأساسية التي تصف الكشف عن أشعة جاما.

الشكل (5– 21) يوضح اعتماد الطاقة على الكفاءة لكاشف الجرمانيوم. ويمكن ملاحظة أنه في الطاقات المنخفضة و المرتفعة تكون الكفاءة صغيرة بسبب التوهين الكبير والاحتمال القليل لترسيب جميع الطاقة داخل البلورة ، ولكن في بعض مديات الطاقة تكون كفاءة مناسبة للقياسات.

من ذروة طيف اشعة جاما يمكن استنتاج ثلاثة أنواع من المعلومات وهي :

الموقع ، عرض ، وعدد النبضات. يمكن استنتاج هذه الكميات من الطيف بشكل عدد القنوات و العد. ولتفسير ذلك بدلالة الطاقات ، والتحليل . والانشطة الاشعاعية فانه ينبغي تعيير كل كمية.يمكن أن تجد طاقة المعايرة للطيف باستخدام أي مصدر ، يبعث أشعة جاما ذات الطاقات المعروفة وبمدى كبير للطاقة. من أنسب المصادرالمستخدمة هي Ra -226 and Th-232 التي تكون في حالة توازن مع وليداتها. معايرة الطاقة للطيف توصف بدالة تربيعية :

الشكل (5– 21) منحنى الكفاءة لكاشف الجرمانيوم



$$E = E0 + a.ch + b.ch^2$$

ولانجاز المعايرة يجب استخدام ما لا يقل عن ثلاثة خطوط بحيث تغطى أوسع نطاق ممكن في مجال الطاقة وينبغي أن تتم بشكل دقيق لان تحديد الموثوقية تعتمد على دقتها.

معايرة عرض الذروة يجب القيام به لان إجراءات التحليل التلقائي للأطياف التي يحتاجها الكمبيوتر لغرض حساب مساحة عرض الذروات . هذه المعايرة تكون حتمية عندما تتداخل الذروات ولكن في بعض الأحيان يمكن أن تستخدم في حساب مساحة عرض ذروة واحدة معزولة. عرض الذروات يتم معايرتها بدلالة الطاقة. حسب احد هذه الدوال :

$$\mathbf{FWHM}(E) = \mathbf{FWHM}(0) + a.E,$$
$$\mathbf{FWHM}(E) = (\mathbf{FWHM}(0) + a.E)^{1/2}$$

أو

$$\mathbf{FWHM}(E) = \mathbf{FWHM}(0) + a.E^{1/2}$$

والتي تستخدم للتعبير عن عرض ذروة المعايرة.

كفاءة المعايرة نحتاجها لغرض تحويل عدد الذروات المحسوبة إلى مقدار اضمحلال العينة خلال القياس. معايرة الكفاءة تنجز باستخدام مصادر يتم تحضيرها من كميات معروفة من المواد المشعة. ولان الكفاءة تختلف مع إبعاد العينة ، كثافتها . مكونات المصادر التي يتم تحضيرها يجب أن تكون مطابقة لإبعاد وكثافة العينة حسب ما يمكن الوصول اليه. الاختلافات بين خواص العينة ، و خواص مصادر المعايرة تؤدي إلى إدخال أخطاء منهجية ينبغي أن تؤخذ عوامل التصحيح لها في الاعتبار.

إذا تم تحضير العينات بأحجام ، وكثافات و مواد مختلفة فيجب تحضير مصادر معايرة مختلفة. لتجنب الإفراط في تحضير مصادر معايرة فإنه من المفيد تحديد الشكل الهندسي للمصدر العياري .

عندما يتم قياس مصدر المعايرة وتحدد مساحة الذروة في الطيف فان الكفاءات في ذروة الطاقات يمكن حسابها من المعادلة التالية:

حيث إن :

$N(E)/T = E$ معدل العد في الذروة عند الطاقة

N عدد العدات و T مدة القياس

$$A.e^{-0.693\ \Delta T/T1/2}.p(E)$$

حيث ان :

A النشاط الإشعاعي المعاير

$e^{-0.693\Delta T/T1/2}$ النشاط في زمن القياس.

T الفترة الزمنية بين المعايرة والقياس .

$p(E)$ احتمال انبعاث أشعة جاما ذات الطاقة E

مدى الطاقات التي عندها تقاس الكفاءة يجب أن تكون على أوسع نطاق ممكن من أجل رسم منحنى موثوق لمعايرة الكفاءة. والمثال البسيط للوصف الرياضي لمعادلة ألمنحنى هو :

$$\ln\varepsilon = a_1 + a_2 \ln E$$

وتوفر هذه المعادلة قيم دقيقة عند الطاقات اكبر من 150 كيلوفولط.

وتوصف فيه الكفاءة بشكل خط مستقيم تقريبا في المقياس اللوغارتيمي – اللوغارتيمي. عند الطاقات الواطئة هناك حاجة إلى تعبيرات أكثر تعقيدا او يجب أن تستخدم تفسير بين القيم المقاسة.

على النقيض من ذروة معايرة الكفاءة ، الكفاءة الكلية أو نسبة المعايرة لمجموع الذروة إلى – الذروة(total-to-peak ratio) يمكن القيام بها بمصدر مشع واحد باعث لأشعة جاما . الكفاءة الكلية تصف احتمال تسجيل أشعة جاما في أي مكان من الطيف. لان تسجيل أشعة جاما في الطيف عند أي طاقة أقل من طاقته ، والمساهمات من أشعة جاما ذات الطاقات المختلفة في الطيف لا يمكن فصلها.

الدقة المطلوبة للمعايرة ليست لها أهمية كبيرة ، إذ أن الكفاءة الكلية تستخدم لحساب التصحيح في جمع التزامن coincidence summing . كمية هذه التصحيحات تمثل 10% و ودقة في الكفاءة الكلية تمثل 10% وبذلك فان الدقة في النتيجة النهائية هي تمثل 1% فقط. والجدير بالملاحظة ، بأن التشتت الحاصل في مواد العينة يسهم في مقدار الكفاءة الكلية .

5 - 6 التحليل بأطياف جاما Gamma - ray spectrometry - analysis

هو عملية تحليل الطيف لحساب النشاط الإشعاعي للنويدات المشعة الموجودة في عينة من الذروات في الطيف والحصول على الطيف عملية عشوائية. قياس العينات المتشابهة لا يولد أطياف متطابقة ، لذلك فان جميع الكميات المستخرجة من الأطياف ترافقها عدم الدقة. كما فان المدخلات لكميات الكفاءات أو احتمالات الانبعاث ، لها حدود للدقة.لغرض انجاز التحليل ينبغي عدم إهمال الخطوات الأساسية التالية :

- تحليل الذروة (موقع الذروة ، حساب مساحة الذروة).
- طرح الخلفية.
- تحديد النويدات المشعة .
- حساب النشاط الإشعاعي (جمع التزامن ، تصحيح التداخل) .
- حساب معدل الكفاءة

• حساب الحد الأدنى لكشف للنشاط الإشعاعي.

لتنفيذ كل خطوة من الخطوات اعلاه فان بعض أنواع البيانات تكون مطلوبة بالإضافة لبيانات المعايرة وهي :

- معايرة الطاقة.
- معايرة FWHM .
- كفاءة المعايرة .
- مجموع الكفاءة أو مجموع نسبة معايرة الذروة إلى– الذروة .

كما أن البيانات عن الخلفية الإشعاعية للكاشف ، بيانات الاضمحلال النووي ، عمر النصف ، احتمالات الانبعاث، والبيانات عن مخططات الاضمحلال يجب تقديها.

يمكن توضيح خطوات التحليل لطيف أشعة جاما بمخطط تحليل الذروات الشكل (5– 22) ومخطط حساب النشاط الإشعاعي الشكل (5– 23)

الحد الأدنى للكشف عن النشاط الإشعاعي

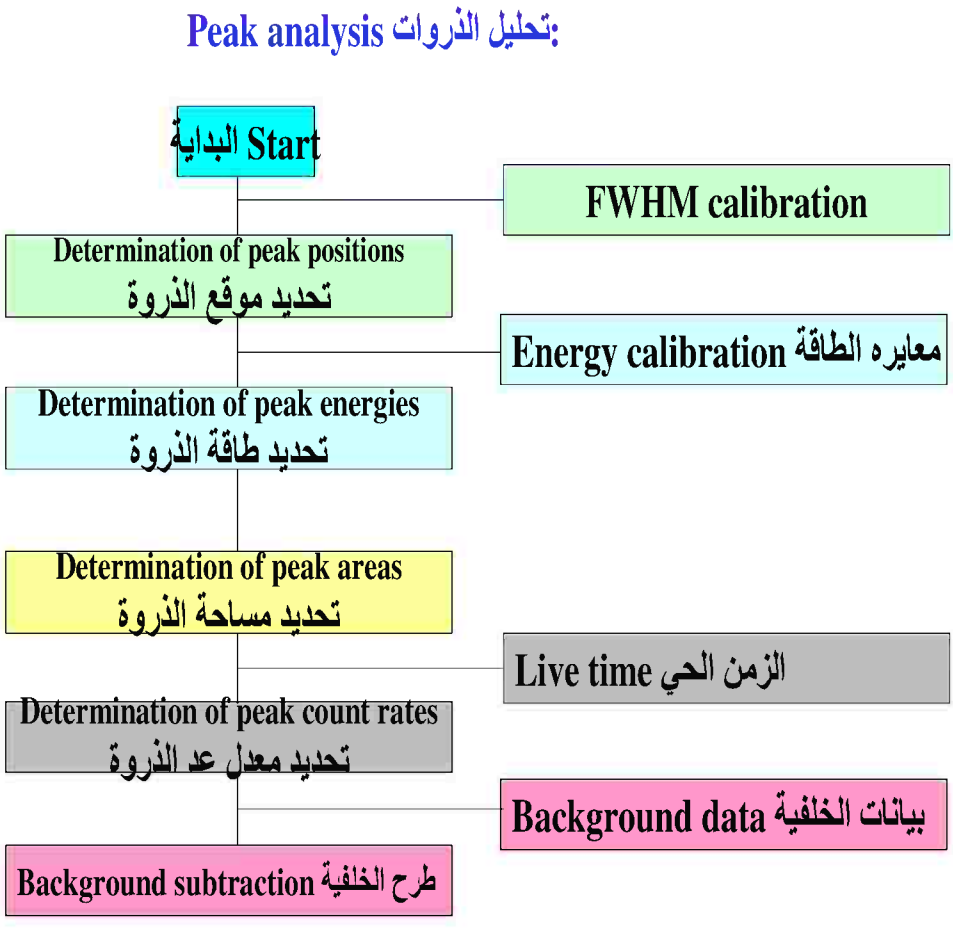
في التحليل التلقائي لطيف أشعة جاما فان الخطوة الأخيرة عادة ما تكون حساب حدود الكشف. حدود الكشف يعطي حساسية القياس للنويدات المشعة والتي لم تكن محددة في الطيف. وهي تبين الأنشطة الأكبر في العينة ، والتي لا يمكن اكتشافها في الطيف. لأجراء حساب حدود الكشف يجب استخدام المعيار للتمييز بين التقلبات الإحصائية في الطيف والذروات الصغيرة. هذه المعيار يثبت أصغر ذروة الواجب تحديدها. للتحديد باحتمال 95% فان الحد الأدنى من النشاط الإشعاعي يعطى:

$$A = \frac{3 + 4.78\sqrt{N}}{\varepsilon(E_0) b(E_0) T}$$

عادة ، لحساب الحد الأدنى للكشف عن النشاط الإشعاعي فان خطوط أشعة جاما ذات الاحتمال الأكبر للانبعاث. عدد العدات N المستخدمة هي العدات التي سجلت في مدى الطاقة التي من المتوقع أن يتم فيها تسجيل أشعة جاما. يأخذ مدى عرض الطاقة في معظم التحليلات.

حد الكشف يتوقف على وجود أنواع أخرى من النويدات المشعة في الطيف والذي يؤثر على هذه الخلفية ، احتمال الانبعاث ، نوعية المطياف، وعلى زمن القياس. تكون عدم الدقة الإحصائية للأنشطة الإشعاعية بالقرب من حدود الكشف كبيرة للغاية لتقديم التقارير لذلك ينبغي وضع تحديد آخر ، وهو حدود التقدير الكمي ، حيث تعتبر الأنشطة الإشعاعية على وجه الدقة بما يكفي لعرض التقارير.

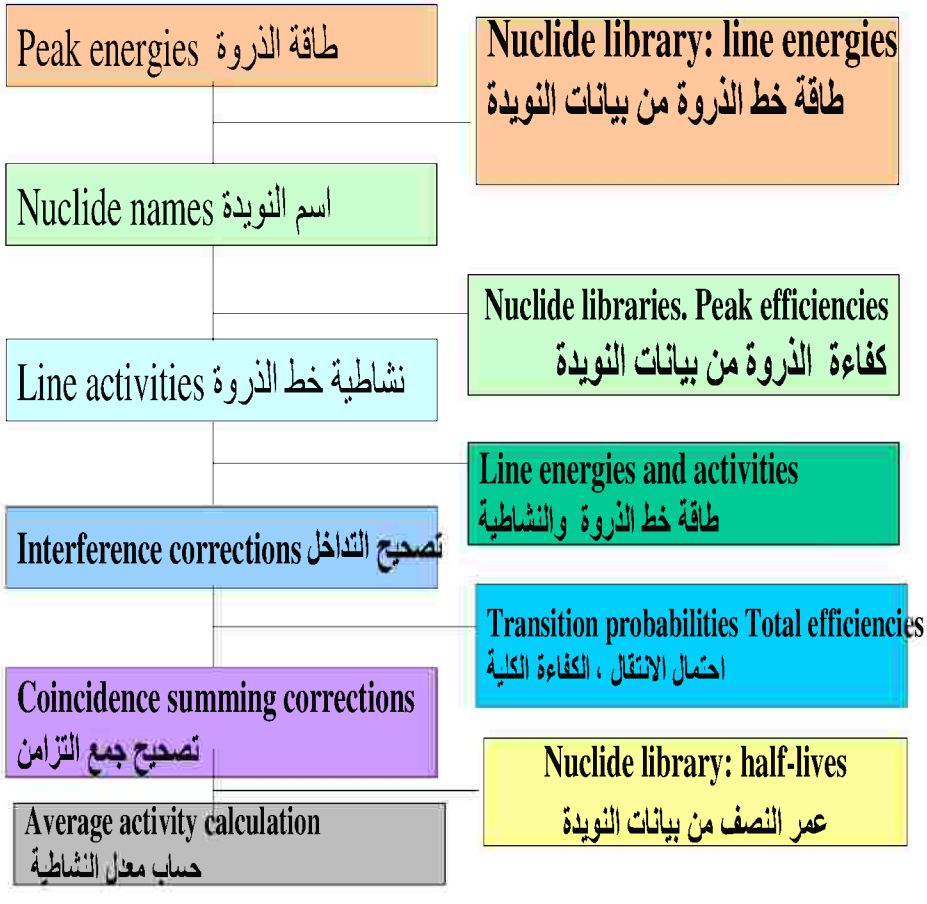
الشكل (5– 22) مخطط تحليل الذروات



حد الكشف يتوقف على وجود أنواع أخرى من النويدات المشعة في الطيف والذي يؤثر على هذه الخلفية ، احتمال الانبعاث ، نوعية المطياف، وعلى زمن القياس. تكون عدم الدقة الإحصائية للأنشطة الإشعاعية بالقرب من حدود الكشف كبيرة للغاية لتقديم التقارير، لذلك ينبغي وضع تحديد آخر ، وهو حدود التقدير الكمي ، حيث تعتبر الأنشطة الإشعاعية على وجه الدقة بما يكفي لعرض التقارير.

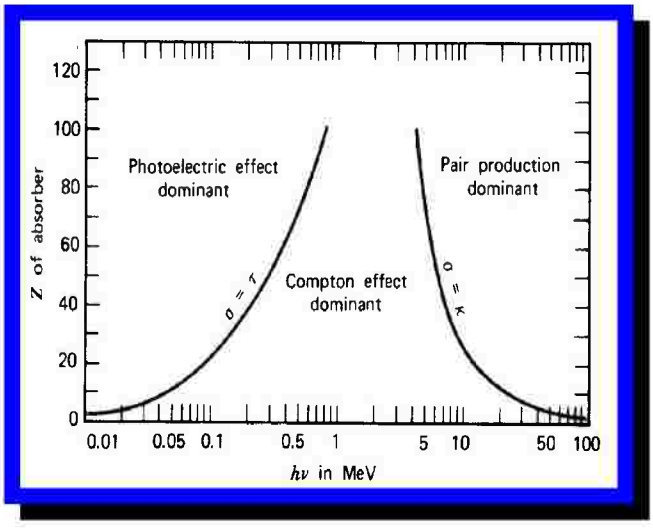
الشكل (5– 23) حساب النشاط الاشعاعي(E_0) FWHM .

Activity calculation حساب النشاط الاشعاعي



الكشف عن الأشعة السينية وأشعة جاما ، ليست عملية مباشرة.لان كل من فوتونات الأشعة السينية وأشعة جاما ليست بجسيمات مشحونة ، وبالتالي فهي لا تأين أو تهيج الوسط الذي تمر فيه مباشرة. وهكذا ، فإن قياس هذه الفوتونات يتوقف على تفاعلها مع الإلكترونات في المتوسط. الفوتونات الساقطة سوف تولد الالكترونات سريعة والتي من خلاله يمكن فهم طبيعة الفوتون نفسه. هذه الالكترونات يكون لها الحد الأقصى للطاقة والذي يساوي طاقة أشعة جاما الساقطة على هذا الإلكترون. هناك ثلاثة طرق لتتفاعل الفوتون مع الوسط والتي تكون مهمة لفهم طيف أشعة جاما هي الظاهرة الكهروضوئية ، استطارة كومتن ، وإنتاج الأزواج. ونظرا لحقيقة أن الفوتونات غير مرئية للكاشف ، فان الكاشف ينبغي أن تكون له وظيفتين محددتين. الأول هو يسلك كوسط من شأنه أن يكون احتمال تتفاعل أشعة جاما معه كبير جدا. الثانية أن دالة ألكاشف هو الكشف بدقة عن الإلكترونات السريعة التي تم تولدها الظاهرة الكهروضوئيه سائدة لطاقة الفوتونات الواطئة نسبيا وللمواد ذات العدد الذري العالي. أما تفاعل إنتاج الأزواج فيكون سائدا لطاقة الفوتونات العالية وللمواد ذات العدد الذري العالي. أما تفاعل كومبتون فيكون سائدا لطاقة الفوتونات المعتدلة كما في الشكل (5– 24) .

الشكل (5– 24) تفاعلات اشعة جاما مع المادة



التفاعل الكهروضوئي هو التفاعل المثالي لتوليد طيف أشعة جاما .الإلكترون الضوئي يحمل معظم طاقة أشعة جاما والأشعة السينية أو الإلكترون أوجي يحمل بقية الطاقة الحركية. وعلى افتراض وجود كاشف مثالي ، فان مجموع هذه الطاقات يكون مساويا لطاقة أشعة جاما الأصلية. وهذا هو المطلوب لمطيافية أشعة جاما ، لأننا مهتمون بمعرفة الطاقات المختلفة

التي تنبعث من مصدر أشعة جاما .

تفاعل كومبتون هو استطارة أشعة جاما الخارجة بواسطة الإلكترونات غير المرتبطة بقوة مع النواة (الإلكترونات الحرة) ، مما يولد فوتون مستطار متناثرة وإلكترون مرتد. وتنقسم طاقة الفوتون الساقط بين الفوتون المستطار والنواة المرتدة عن طريق العلاقة التي تعتمد على زاوية الاستطارة. طاقة الإلكترون المستطار تعطى بالعلاقة التالية:

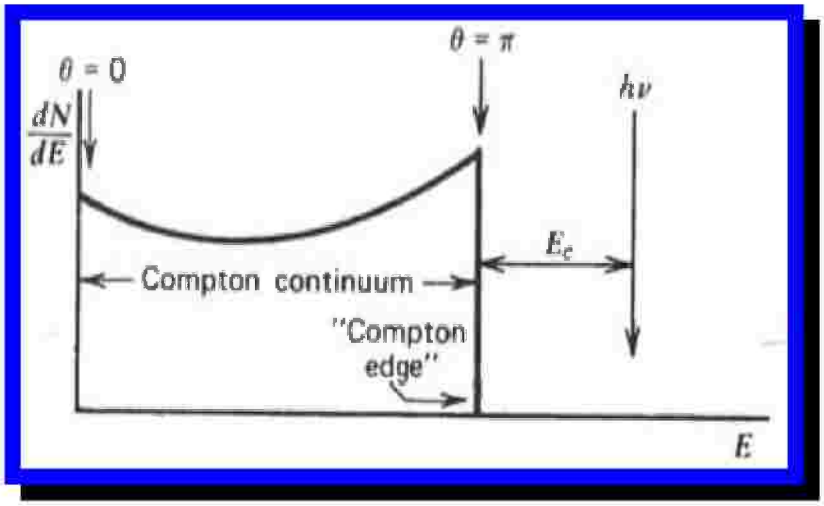
$$E_e = h\nu - h\nu^{-} = h\nu\left(\frac{h\nu/(m_0c^2)/(1-\cos\theta)}{1+(h\nu/m_0c^2)(1-\cos\theta)}\right) \quad \text{-----1}$$

هناك نوعان من الحالات القصوى التي تمليها هذه المعادلة : عندما تكون زاوية الاستطارة = 0 ، فان الفوتون المستطار يحمل الطاقة باجمعها وتكون الطاقة التي يحملها إلكترون المرتد صفرا. وعندما تكون زاوية استطارة أشعة جاما الخارجة = 180 أي أن أشعة جاما الخارجة ترتد بنفس الاتجاه و الإلكترون يرتد باتجاه الأشعة الساقطة. في هذه الحالة ينتقل الحد الأقصى من الطاقة من أشعة جاما الساقطة إلى الإلكترون.

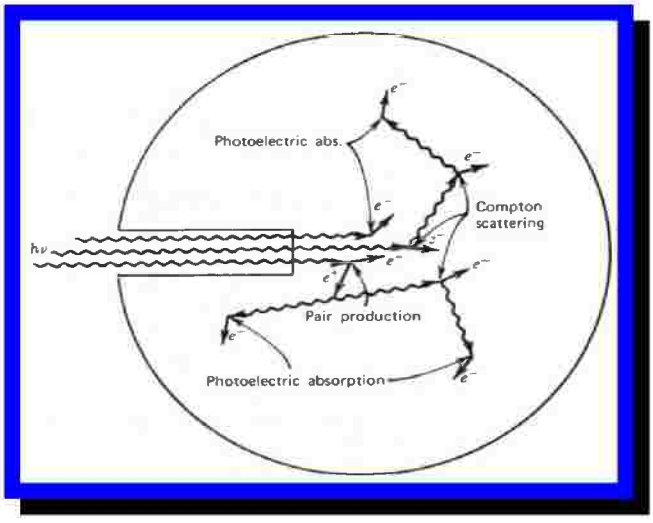
في الكاشف ، تحدث جميع زوايا الاستطارة من صفر إلى 180 درجة. وبسبب هذا فان سلسلة متصلة من الطاقات تسمى سلسلة كومتن(Compton continuum) سوف تنتقل إلى الإلكترون. ويمكن ملاحظة ذلك في الشكل (12– 25). هذه الطاقة مدها من الصفر إلى الحد الأقصى حسب المعادلة 1. . فإذا كان سمك الكاشف أكبر بكثير من المسار الحر للإلكترونات السريعة التي تم تولدها من مصدر أشعة جاما الاحادية الطاقة والتي تفاعل مع الحجم الحساس للكاشف.

تفاعل أشعة جاما مع مادة الكاشف قد تحصل وتمتص باجمعها في الكاشف الشكل (5– 26) وهذه حالة مثالية لا تحصل عمليا .في ظل هذه الظروف المثالية ، فإن الطيف يكون مثاليا بشكل ذروة منفردة متميزة (5– 27).

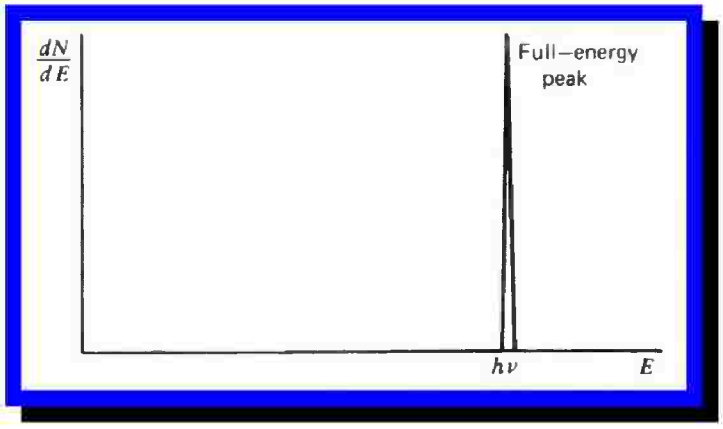
الشكل (5– 25) طيف سلسلة كومتن



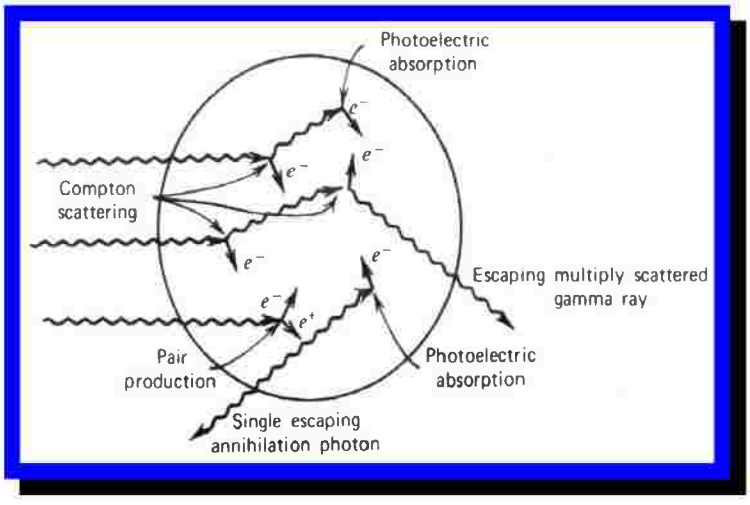
الشكل (5– 26) كاشف حجمه الحساس كبيرا بما يكفي بأن جميع أشعة جاما المتفاعلة تمتص داخلة.



الشكل (5– 27) ذروة منفردة متميزة تمثل طاقة أشعة جاما الأحادية



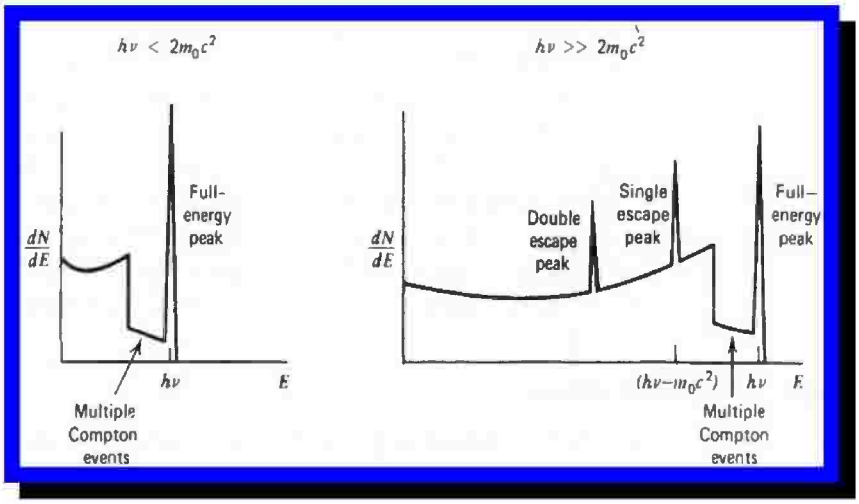
الشكل (5– 28) تفاعلات أشعة جاما الساقطة في الحجم الحساس للكاشف



ولكن الحالة الواقعية لتفاعلات أشعة جاما داخل الحجم الحساس للكاشف هو هروب بعض الطاقات خارج مادة الكاشف كما مبين في الشكل (5– 28). والطيف الناتج في هذه الحالة موضح بالشكل (5– 29) وهو رسم لطيف نبضة الارتفاع للكاشف في هذه الحالة. ويمكن أن يرى أن طاقة الفوتون لم يعد بشكل ذروة منفردة متميزة ، ولكنها

تحتوي على مجموعة كاملة من الطاقات. هذا الطيف من الطاقات يعتمد على عوامل عديدة. شكل نبضة ارتفاع الطيف تعتمد على ، الحجم ، الشكل ، الوضع الهندسي ، ومادة الكاشف. من خصائص الطيف التي كثيرا ما يستشهد بها تسمى جزء الطيف photofraction ، وهي النسبة بين المساحة تحت الذروة إلى المساحة تحت الطيف باجمعة ، والنسبة بين المساحة تحت الذروة الهاربة المنفردة أو المزدوجة إلى المساحة تحت الذروة .

الشكل (5– 29) ارتفاع طيف النبضات لمعدل حجم ألكاشف ذات مساحة



لسوء الحظ ، هناك العديد من العوامل التي تعقد طيف أشعة جاما إلى أبعد من ذلك. هذه العوامل هي : هروب الإلكترون الثانوي ، هروب البرمشتالنج ، هروب الأشعة السينية المميزة ، الإشعاعات الثانوية المتولدة بالقرب من المصدر ، تأثير المواد المحيطة ، والتزامن

هروب الإلكترون الثانوي Secondary Electron Escape

عندما تتفاعل أشعة جاما ذات الطاقة العالية مع مادة الكاشف، تتولد الالكترونات ثانوية ذات الطاقة عالية أيضا. هذه الجسيمات عالية الطاقة لديها احتمال كبيرة لاختراق الكاشف والخروج منة. هذه الحالة تكون سائدة في أجهزة الكشف صغيرة الحجم جدا. تسرب هذا الإلكترون سوف يؤدي إلى تشويه دالة الاستجابة. طيف كومبتون بالإضافة إلى الطاقات الأخرى ذات السعة القليلة سوف تزاح الى الطاقات

ذات السعة الأقل. مثل هذه التفاعلات سوف تهرب من النظام وان الذروة سوف تقل كذلك. هذه الخسارة للتفاعلات سوف تقلل جزء الطيف .

هروب البرمشتالنج Bremsstrahlung Escape

فوتونات البرمشتالنج عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي ينبعث نتيجة لتباطؤ ، الجسيمات المشحونة. في هذه الحالة ، الجسيم المشحون هو الإلكترون والذي يتباطئ نتيجة تشتته مع النوى الأخرى. وهذا يسبب مشكلة عندما تنبعث فوتونات البرمشتالنج و لا تمتص من قبل الكاشف. إنتاج فوتونات البرمشتالنج يتناسب مع Z^2 للوسط الماص. هذا يؤدي إلى تغير دالة الاستجابة بنفس الطريقة حيث أن الالكترونات الثانوية التي تهرب تغير دالة الاستجابة. تأثير البرمشتالنج يمكن الحد منه باستخدام مواد ذات إعداد ذرية منخفضة.

هروب الأشعة السينية المميزة Characteristic X-Ray Escape

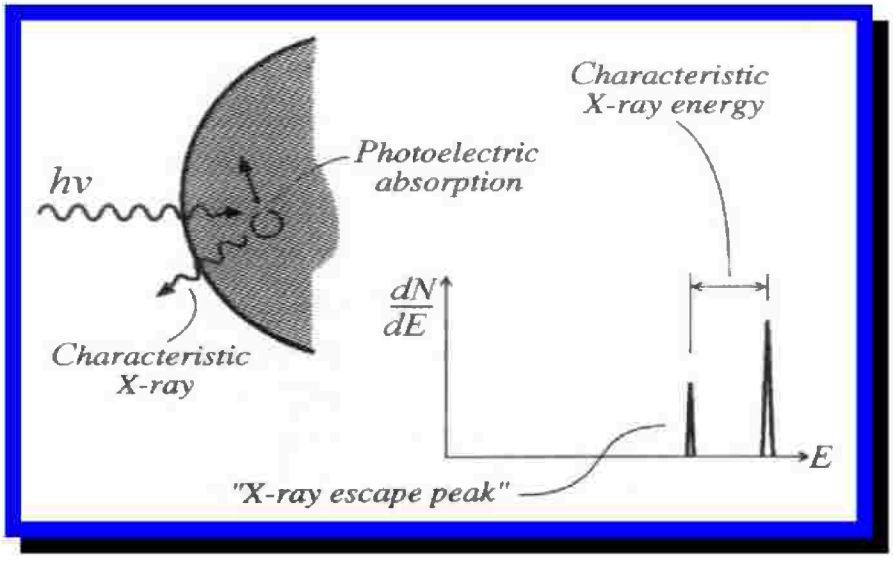
كما وضح في عملية الامتصاص الكهروضوئي ، فان الأشعة السينية المميزة تنبعث من قبل ذرة الامتصاص وهذا يعني ، في معظم الحالات ، يعاد امتصاصها بالقرب من الذرة التي بعثتها. إذا جرت هذه العملية قرب سطح كاشف ، فان الأشعة السينية المميزة قد تهرب من الكاشف وتغيير دالة الاستجابة ، كما يوضح الشكل (12– 30). هروب الأشعة السينية المميزة ، يخلق ذروة جديدة في دالة الاستجابة تظهر على مسافة من طاقة الأشعة السينية المميزة بعيدا عن الذروة وتعرف بذروة هروب الأشعة السينية. هذه الظاهرة سائدة في حالة الفوتونات الساقطة المنخفضة الطاقة و للكواشف ذات النسبة الكبير بين السطح و الحجم.

الإشعاعات الثانوية الحاصلة القرب من المصدر Secondary Radiations Created Near the Source

الإشعاعات الثانوية هي الإشعاعات التي تنبعث من الجسيمات المصدر ، كما هو الحال في اضمحلال β^- وβ^+. وبعبارة أخرى ، فهي أحداث الإشعاع التي سببها المصدر بدلا من أن تنبعث من المصدر نفسه . في حالة اضمحلال β^- ، فان الالكترونات لا تكون عادة من الكاشف ، ولكنها تبعث اشعاع البرمشتالنج الذي يخترق ويتفاعل داخل كاشف. وفي حالة اضمحلال β^+. ، فان الفوتون ينبعث نتيجة لفناء البوزيترون يمكن

أن يدخل أيضا إلى الكاشف وتغيير دالة الاستجابة. كل من هذه الأنواع من الإشعاعات الثانوية تؤدي إلى زيادة الطاقة الإجمالية التي يتم الكشف عنها في المنظومة. هذه الطاقات من الإشعاع الثانوية تتراكب على دالة الاستجابة. ويؤدي ذلك إلى إزاحة الطيف لصالح أعلى سعة.

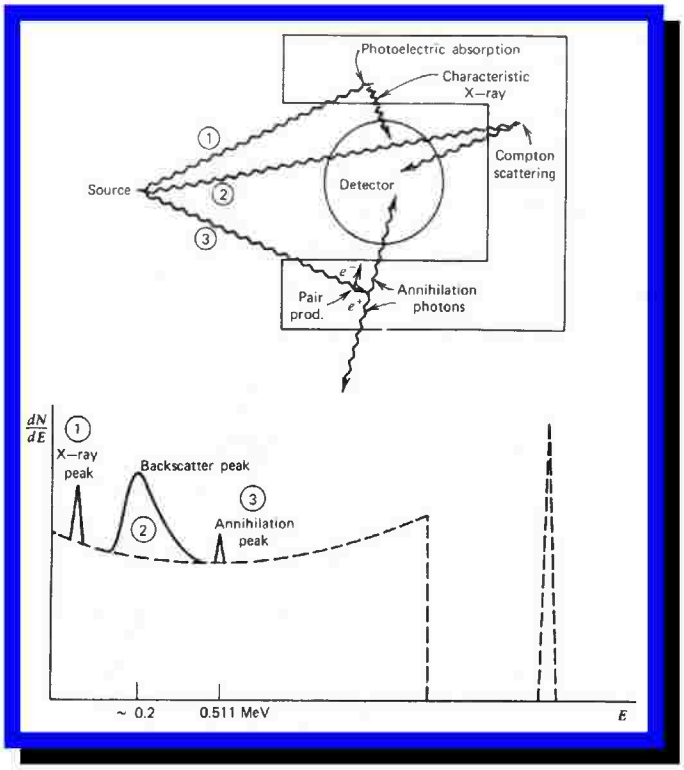
الشكل (5– 30) هروب الأشعة السينية المميزة من الكاشف وتأثيرها على دالة الاستجابة



تأثير المواد المحيطة Effects of Surrounding Materials

في كثير من الأحيان ، فان أشعة جاما المنبعثة من مصدر لا تتفاعل داخل كاشف ، ولكن سوف تفاعل مع المواد التي تحيط بالكاشف، و من غير الشائع أن نتائج هذه التفاعلات يمتصها الكاشف. الشكل (5– 31) يوضح تكون الا شعاع من المواد المحيطة بالكاشف والذي يؤثر على دالة الاستجابة. في الشكل (5– 31) الحدث (1) يمثل إحداث الأشعة السينية.

الشكل(5– 31) تأثير المواد المحيطة في الكشف على الاستجابة. وبالإضافة إلى الطيف المتوقع(الخط المتقطع) .



هذه الذروة إلاضافية في دالة الاستجابة هو نتيجة لامتصاص الكاشف إلى الأشعة السينية التي تنبعث من المواد المحيطة بها. الحدث (2) يعود إلى التشتت المرتد. هذه أوسع ذروة بسبب المدى الواسع من الطاقات التي يملكها الفوتون المرتد. الحدث (3) هو تولد فناء للفوتونات الخارجيةforeign annihilation photons . وهذا سوف يسبب دائما دفعة قوية لدالة الاستجابة عند الطاقة 0.511 MeV. هذا الحصيلة الكبيرة من فناء الاشعاع تتعلق بالمنظومة التي تحيط بها مواد ذات عدد ذري عالي.

جمع الذروات Summation Peaks

جمع الذروات تحدث عندما يتم انبعاث اثنين من أشعة جاما في تتابع سريع ، بحيث يبدو أنها تنبعث على الفور. هذا الانبعاث الفوري لأشعة جاما المنفصلة يعرف بالتزامنcoincidence . في هذه الحالة فإن الكاشف سوف يكشف عن الذروتين

كأنها ذروة واحدة ذات طاقة أكبر . ونتيجة لهذا فان هذه الذروة في الطيف أكبر من أشعة جاما المميزة التي تنبعث من المصدر. وإلاشارة لمجموع الذروتين هو ذروة بارزه لديها طاقة تساوي طاقة الذروتين لأشعة جاما المميزة.

كاشفات أشباه الموصلات من الجرمانيوم عالي النقاوة High Purity Germanium Semiconductor Detectors

الجرمانيوم عالية النقاوة ، أو ببساطة كاشف HPGe ، هو بلورات من أشباه الموصلات التي يتم تصنيعها من الجرمانيوم الفائق النقاوة. والسبب في درجة النقاء العالية من المادة هو الحصول على اكبر ما يمكن من عرض لمنطقة الاستنزاف. المعادلة لعرض منطقة الاستنزاف هي :

$$d = \left(\frac{\varepsilon V}{eN}\right)^{1/2}$$

حيث أن :

e الشحنة الكهربائية

ε ثابت العزل الكهربائي ،

V فولطية الانحياز الخلفي ،

N تركيز الشوائب الكلية في جميع مواد أشباه الموصلات.

يتضح من المعادلة اعلاه أنة كلما كان تركيز الشوائب قليل فان عمق طبقة الاستنزاف يكون كبير. يتم اختيار الجرمانيوم وذلك لان تقنيات التصنيع الحالية تسمح للحصول على جرمانيوم تصل نسبة النقاء فيه إلى 10^{10} ذرة / سم ^{2} . في هذا المستوى من النقاء ، يمكن الحصول على منطقة استنزاف بعمق 10 ملم عندما تكون فولطية الانحياز الخلفية أقل من 1000 فولط.

5 - 7 التحليل إلجامي لطيف U -238 and Ra -226

التوازن الإشعاعي :

عند اضمحلال السلاسل الطبيعية المشعة فان مكونات السلسلة تكون في حالة توازن إشعاعي إذا كنت أنشطتها الإشعاعية متساوية. أي أن عدد الذرات في وحدة الزمن الذي تتشكل يساوي عدد الذرات المضمحلة . الأنشطة الإشعاعية لجميع مكونات السلسلة بنبعي أن تكون مساوية للنشاط الإشعاعي للنظير الذي له أطول عمر نصف. للحصول على نويدات مشعة في حالة توازن إشعاعي ، يجب أن تكون العينات قديمة (لم يطرأ عليها أي فصل) ومتكونة من العديد من النويدات ذات نصف العمر الأطول. اما النماذج التي تبلغ من العمر شهرا واحدا أو أقل فان U-238 و Th-234 ليس بالضرورة أن تكون في حالة توازن.

بالنسبة للنماذج التي تبلغ من العمر سنة واحدة أو أكثر فانPb-210 و Po-210 في حالة توازن.

للتقليل من فصل Rn - 222 من النموذج يجب غلق الوعاء بإحكام لمنع التسرب وإذا كان الغلق غير محكما ينبغي أن يكون التسرب معلوما. بعد غلق النموذج يبدأ Rn - 222 بالتراكم ويصل إلى تركيزه الثابت بعد نحو أسبوعين. لأداء القياسات بصورة أسرع يجب أن تؤخذ حالة عدم التوازن في الحسبان. عند وضع النموذج في وعاء مارنيللي المصنع من البلاستك فان Rn-222 سوف يتسرب ولغرض تقليل التسرب يغطى الوعاء من الداخل يقطع من البلاستك المستخدم كغطاء لبعض الكتب وعند حافات الوعاء يكون الغلق غير محكم لذلك يفضل طلي الحافات بالقار قبل وضع البلاستك الشكل (5 - 24) او يستخدم وعاء من السيراميك غير المنفذ للغاز. وفي بعض الحالات يستخدم وعاء مانيللي من الكوارنز غير المنفذ لغازRn-222 .

الموديل الرياضي الذي يستخدم لتحديد تركيز Ra-226 يأخذ في الاعتبار تراكم Rn - 222 بعد تحضير النموذج وعدم كفاءة الغلق. نتيجة حساب معامل تصحيح للموديل الرياضي يتعين تطبيقها على النشاط الإشعاعي لوليدات نظير Rn - 222 ذات أعمار النصف القصيرة الأجل لتمثيل النشاط الإشعاعي لنظيرRa-226 .

$$Correction \frac{1}{\alpha+(\beta-\alpha)(1-e^{-\lambda(\Delta t+t)}+x[1-(\beta-\alpha)-\alpha]e^{-\lambda t}}$$

حيث ان :

α :النسبة بين Rn-222/Ra-226 لعدم الاتزان عند تحضير النموذج

β: النسبة بين Rn-222/Ra-226 لعدم الاتزان بعد فترة طويلة من عدم غلق النموذج.

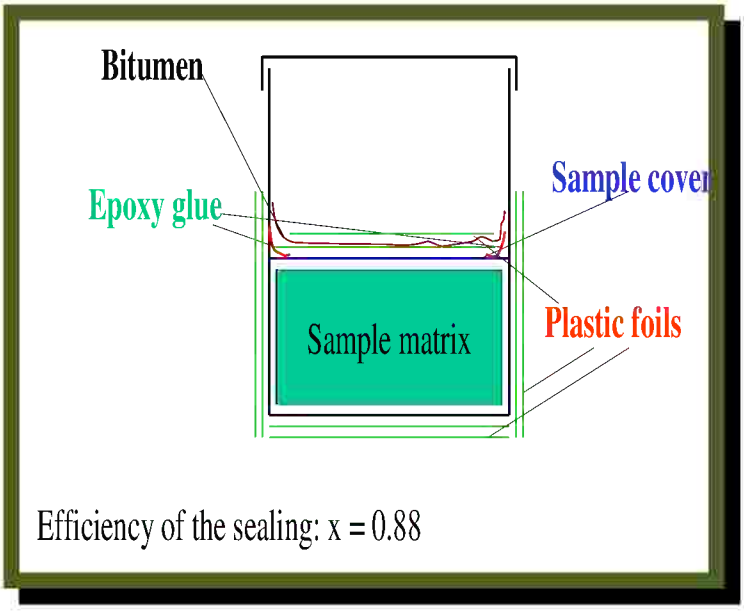
x : كفاءة الغلق .

Δ t : الفترة الفاصلة بين تحضير النموذج وغلقه .

t : الزمن بعد غلق النموذج

λ: ثابت الانحلال الإشعاعي لنظير Rn-222

الشكل (5– 24) طريقة منع تسرب الرادون من الوعاء



يظهر النشاط الاشعاعي ^{226}Ra عند الطاقة 186.21 كيلوالكترون فولط والنشاط الاشعاعي ^{235}U عند الطاقة 185.7 كيلوالكترون فولط ولأنه لايمكن لعداد الجرمانيوم الفصل بين الطاقتين المتقاربتين . لايجاد النشاط الاشعاعي ^{226}Ra لوحدة ياخذ النشاط الاشعاعي ^{235}U عند الطاقة 143.7 كيلوالكترون فولط ونطرحها من النشاط الاشعاعي عند عند الطاقة 186.21 كيلوالكترون فولط فنحصل على النشاط الاشعاعي ^{226}Ra لوحدة.

الجدول (5 - 2) افضل طاقات اشعة جاما الناتجة عن انحلال سلسلة U-238

النويدة	عمر النصف	الطاقة ، نسبتها المئوية
U-238	4.8×10^9 سنة	49.6 keV, 0.07%
Th-234	24.3 يوم	63.3 keV, 3.8%; او 92.6 keV, 4.8%
Pa-234m	1.17 دقيقة	1001 keV, 0.88%
Th-230	7.5×10^4 سنة	67.8 keV, 0.4%
Ra-226	1600 سنة	186.1 keV, 3.3% والتي تتداخل مع 185.7 keV من U-235
Pb-214	27 دقيقة	295 keV, 19% او 352 keV, 37%
Bi-214	20 دقيقة	609 keV, 46%, 1765 keV, 16% 1120 keV, 15%
Pb-210	22 سنة	47 keV, 4.1%

ملاحظات:

1 - عند افتراض التوازن بين U-238 وTh-234 فان U-238 يمكن حسابه من الطاقات keV 63.3 وkeV 92.6 (ينبغي معرفة التوهين الذاتي Self-attenuation) او حسابة من الطاقة keV 1001.

2 – يفضل حساب النشاط الاشعاعي U-238 من Th-234 او Pa-234m ويوضح الجدول (5 - 2) يوضح افضل طاقات اشعة جاما الناتجة عن انحلال سلسلة U-238 و الجدول (5 - 3) يوضح افضل طاقات اشعة جاما الناتجة عن انحلال سلسلة U-235:

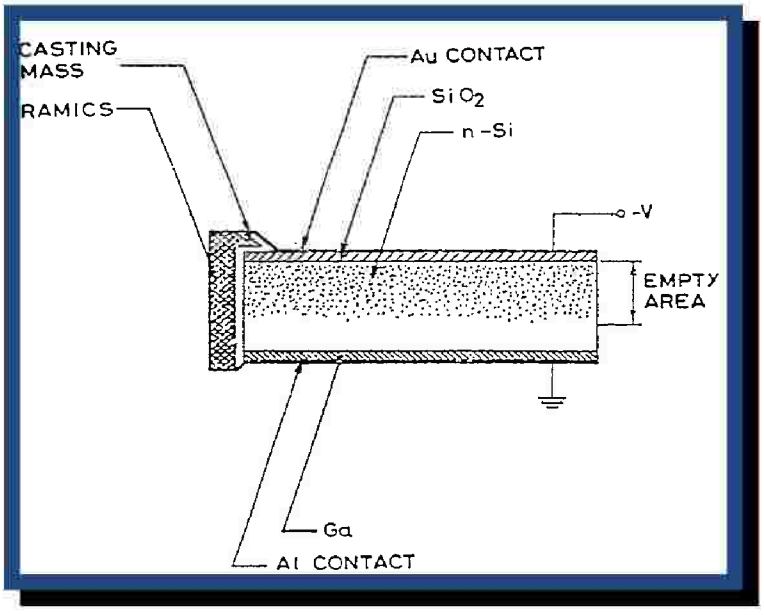
الجدول (5 - 3) طاقات اشعة جاما الناتجة عن انحلال سلسلة U-235:

النويدة	عمر النصف	الطاقة , نسبتها المئوية
U-235	7×10^8 سنة	143.8 keV, او **185.7 keV, 57.2%** 163.4 keV, 51% او 11%;
Pa-231	3.3×10^4 سنة	300 keV, 2.4% او 27.4 keV, 9.3%;
Th-227	19 يوم	256.2 keV, 6.7% 236. keV, 11.2%; 50.1 keV, 8.5% او
Ra-223	11 يوم	154.2 keV, 5.6 او 269.4 keV, 13.6% 323.9 keV, 3.9% او
Rn-219	54 ثانية	401.7 keV, 6.6% او 271.1 keV, 9.9%
Pb-211	35 دقيقة	831.9 keV, 3.8% او 404.9 keV, 3.8%;
Bi-211	2.1 دقيقة	350.1 keV, 12.8%
جميع هذة الطاقات ضعيفة نسبيا عدا الطاقة 185.7 keV والتي تتداخل مع طاقة الراديوم- 226		

5 – 8 التحليل الطيفي لجسيمات ألفا Alpha Spectroscopy

بعض الصمات الثنائية للسليكون مصممة ككاشف حجمه الفعال (منطقة الاستنزاف) قريبة جدا من سطح الكاشف الذي له نافذة رقيقة للغاية لذلك يمكن استخدامة في تحليل وقياس اطياف الفا. جسيمات الفا يكمنها الدخول الى الحجم الحساس للكاشف وترسيب جميع طاقتها فية وتكون الشحنات المتجمعة مقياس لطاقة جسيمات ألفا ، وهذه الكواشف تستحدم بشكل شائع في مطياف جسيمات ألفا. الشكل (5– 24)

شكل (5 – 24) مخطط لكاشف السيلكون لجسيمات الفا



بعض النظائر المشعة تبعث جسيمات ألفا تلقائيا بطاقات مميزة تتراوح ما بين 4 و 6 MeV ولان جسيمات ألفا هي جسيمات مشحونة كبيرة وبطيئة لذلك فإنها تخسر طاقتها في المواد بسهولة. وبالتالي فان أي وسط مادي بين النويدات المشعة الباعثة لجسيمات ألفا والحجم الحساس للكاشف سوف يمتص جزء كبيرا من طاقة جسيمات ألفا .خصائص التوهين لهذه الجسيمات التي تحصل داخل العينة أو المواد الموجودة بين العينة والحجم الحساس للكاشف يسبب تناقصا في ذروة ألفا. الذروات

المتولدة من جسيمات الفا ، تميل إلى أن يكون لها شكل متناظر وليس بشكل توزيع كاوسي كما في طيف أشعة جاما. يجب اتخاذ الإجراءات للحد من حجم الذيل في طيف ألفا . هذه الإجراءات على وجه التحديد هي العينات الرقيقة والحجرة المفرغة لتجنب الامتصاص الذاتي .

طاقات العديد من النظائر الباعثة لجسيمات ألفا تختلف بعضها عن البعض الأخر بمقدار 10 إلى 20 كيلوالكترون فولط. لأن هذه القيم قريبة من قدرة فصل كاشف السيلكون المستخدم في طيف ألفا ، لذلك فان معظم العينات يجب أن تفصل كيميائيا قبل التحليل. والغرض من الفصل الكيميائي هو عزل بعض العناصر في العينة لتقليل التدخلات الناتجة من انبعاث ألفا من النويدات المتعددة. لحساب الخسارة في كمية العينة التي لا مفر منها عند الفصل الكيميائي ينبغي إضافة كمية محددة وقليلة من نظائر معروفة أو نظائر التتبع tracer. إن نظير التتبع هو نظير العنصر قيد الدراسة مثل نظير ^{232}U للكشف عن اليورانيوم. لأن جميع نظائر العنصر تتصرف كيميائيا على حد سواء ، النسبة المئوية الضائعة من نظير التتبع في العمليات الكيميائية مساو للنسبة المئوية الضائعة من العينة على فرض ان نظير التتبع يمتزج بتجانس مع العينة ويجعله في حالة توازن كيميائي مع العينة.

من أجل الحصول على ارق عينة ممكنة ، وبالتالي تقليل التوهين الذاتي ، يفضل تحضر العينات من خلال الترسيب الكهربائي Electro deposition، أو تحويل العينة إلى سائل ووضع قطرة منها على قرص معدني وتبخيرها، أو ترسيب العينة عن طريق استخدام كمية قليلة جدا (ميكروغرام) من المعادن النادرة مثل فلوريد النوديميوم. عد وضع العينة في الحجرة وتفريغ الحجرة ، ينبغي الحصول على البيانات من العينة مسبقا لفترة محددة من الزمن. بسبب قلة الأنشطة الإشعاعية للنظائر فان عمليات العد غالبا ما تكون طويلة للوصول إلى الحدود الدنيا للكشف MDA المنشودة وقد يصل زمن العد إلى ما يزيد على 50000 ثانية أي أكثر من نصف يوم. هذه الأوقات الطويلة للعد ، والفترة الطويلة (كثير من الأحيان عدة أيام) لتحضير العينة ، يحتم على الباحث أن ينجز جميع الخطوات في التحضير والعد

بشكل صحيح. لان الأخطاء يمكن أن تؤدي إلى خسارة قدرا كبيرا من الجهد والزمن والمواد ، وزيادة التكلفة لكل عينة والتسبب في اضطرابات في العمليات العادية.

بعد الحصول على البيانات ، وتحليل الطيف بالبرمجيات وتحديد نتائج كميات النظائر المطلوبة فان عملية تحليل الطيف يمكن ان يتضمن العد الكلي ، تصحيح الكفاءة أو تصحيحات واسعة النطاق للخلفية ، والتعويض عن مختلف الخصائص للعمليات الكيميائية ، وتصحيح التداخل في الذروات –الخ . ومن اكثر الخطوات ألاخرى المهمة للحصول على نتائج دقيقة للنشاط الاشعاعي المطلوب في التحليل الطيفي لجسيمات ألفا هو التحضير والإعداد المناسب للعينة. تحضير وإعداد العينة يعني تحويلها إلى طبقات رقيقة معزولة كيميائيا لكي توضع في المطياف ويتم عدها مع أدنى حد من التدخلات والامتصاص الذاتي.تحويل العينات الخام الى شكل مناسب للتحليل الطيفي لجسيمات ألفا غالبا ما يتطلب عملية واسعة و عدد من الخطوات. مئات المنهجيات المختلفة والبحوث قد تم نشرها لتطبيقات محددة (على سبيل المثال قياس النشاط الاشعاعي للنظائر U, Pu، وAm في التربة ، U و Th,في الرواسب البحرية - - الخ). هناك ثلاث خطوات رئيسية لتحضير العينات للقياس الطيفي لجسيمات ألفا هي :

1- المعاملة الأولية : تتم المعالجة الأولية لغرض تجانس العينة ، وتجهيزها للعمليات الكيميائية الاحقة. إجراءات مختلفة تستخدم لتحضير العينات الصلبة (مثل التربة) ، وألعينات السائلة و العينات النسيجية المستخدمة للمسح wipe. هذه الإجراءات تقوم على التجانس والمحافظة على العينة وتحضير العينة للعمليات الكيميائية لاحقا. تستخدم إجراءات مختلفة لتحضير ونمذجة العينات الصلبة (مثل التربة) ،العينات السائلة ، المرشحات ، وانسجة المسحات . يفضل تعليم العينة بنويدات المتتبع و في وقت مبكر من مرحلة المعاملات الكيمياوية الأولية.

بالنسبة للعينات الصلبة فان تحضيرها يمكن أن يتم بالتجفيف ، الطحن ، والنخل من خلال منخل قطر ثقوبة لا تتجاوز 100 مايكرون وقد تحرق العينة لإزالة المواد العضوية ، وأخيرا تذاب في حامض قوي يكون عادة مزيج من حوامض النيتريك ،

البير فلورين، و الهيدروفلورين. عندما تحتوي العينات على مواد السيليكات ، فان اضافة حامض الهيدروفلورين ضروري جدا. وبتكرار تبخر الحامض فان العينة المذابة ستحول السيليكات الى سيليكون على الفلوريد الرباعي.

يستخدم فرن تقليدي أو فرن الميكروويف لتسريع عملية الهضم.

تستخدم تقانة درجة الحرارة الانصهارالمرتفعة أيضا في اذابة عينات التربة. هذه التقانة تستخدم البايرسلفيت ،البوريت ، والكاربونات . اهمية استخدام البايرسلفيت هو ازالة جميع السيليكات وتضمن التفكك الكامل.

الطريقة البديلة الى الاذابة كاملة ينطوي على نض leaching العينة بمحلول حامضي قوي مثل 6 M من حامض الهيدروكلوريك. وهذا نهج فعال عندما تترسب النويدات المشعة المطلوب قياسها على سطح دقائق التربة بدلا من إندماجها ضمن هيكل البلورة.اما عينات السائل فتحمض بحامض النيتريك أو حامض الهيدروكلوريك بعد فترة وجيزة من جمع العينات .

وهذا يضمن أن العناصر النزرة والنويدات تحفظ في المحلول، وكبح النمو البيولوجي . ولكن هناك استثناءات لاستعمال هذه الطريقة لليود الذي ينبغي ان يحفظ في المحلول. ترشيح عينة السائل سيتوقف على الاحتياجات التحليلية مثل التركيز المذاب او التركيز الكلي. بعد إضافة متتبع الأثر الإشعاعي وعناصر الحمل المستقرة carrier elements ، فان عينة السائل يتم تركيزها بمختلف تقنيات الترسيب. الفصل "scavenging" الاولي للنويدات المشعة يعتبر الخطوة ألاولى للتنقية ، حيث ان الكثير من العناصر المشتركة تترك في هذه العملية.

عينات المرشحات والمسح "wipe" عادة ما تعامل بالحوامض. في حالة المرشحات الورقية فانها تحرق قبل اضافة الأحماض القوية لها كما في عينات التربة. مرشحات الألياف الزجاجية يمكن اذابتها بحامض الهيدرو فلورك اما المرشحات الغشائية فانها تعامل مع حامض النيتريك. في بعض الحالات ، فان المرشحات الغشائية يمكن تحويلها الى رماد في درجات حرارة عالية.

ومن الممكن في بعض الأحيان أن تقاس مرشحات الهواء مباشرة بدون المعاملة الكيميائية.

2- الفصل الكيميائي: الفصل الكيماوي يستخدم لعزل العناصر المطلوبة حيث ان العينة الخام تقسم إلى عينات فرعية بحيث ان كل عينة فرعية تستخدم لقياس عنصر محدد على سبيل المثال .(Pu, U, Th). التقنيات المستخدمة للفصل تتضمن الترسيب واستخلاص السائل من السائل ، والتبادل الأيوني وألاستخلاص الكروموتوغرافي.تستخدم في بعض الحالات ، اثنين أو أكثر من هذه التقنيات. كثيرا ما يستخدم الترسيب لاعادة تركيز النويدات المشعة ، وإخراجهما من النسيج الكلي المراد تحليلة. فمثلا ان ترسيب اوكسالات الكالسيوم سيزيل أكثر الاكتينات actinides من البول ويترك معظم المواد العضوية وغير العضوية وراءه.

آلية الترسيب في معظم المركبات هو عملية تضمين أو اصطياد inclusion or trapping الكثير من المركبات مثل هيدروكسيد الحديد المتبلور في طبيعته وعادة ما يحتوي على العديد من جزيئات الماء.

عندما يكون هناك اثر للعنصر مثل النويدات المشعة فيتم إختبارها في خليط معقد ، في كثير من الأحيان يجرى الفصل الاولي باستخدام عملية الترسيب. على سبيل المثال ، هيدروكسيد الألومنيوم والحديد يمكن استخدامها لعزل اليورانيوم من المحاليل المائية الحامضية من خلال إضافة هيدروكسيد الأمونيوم المتحرر من الكربونات.

اليورانيوم يمكن أن يرسب بواسطة الالمنيوم ، التيتانيوم Ti ، أو الزركونيوم Zr , او الاثانيوم La بشكل فلوريد أو فوسفات.

في تقانة استخلاص السائل - السائل (غالبا ما يطلق عليها الاستخلاص المذيبي) تستخدم الأحماض العضوية ، الكيتونات ، الايثرات ، الاسترات، الكحول و المشتقات العضوية لحامض الفوسفوريك ، لاستخلاص اليورانيوم وغيرها من الاكتينات . ميثيل كيتون الايزوبيوتيل Methyl isobutyl ketone يستخدم على نطاق واسع في الصناعة النووية لاستخراج البلوتونيوم واليورانيوم من الوقود النووي المستهلك.

في بعض الحالات ، فان الاستخلاص المذيبي يركز النويدات المشعة المطلوبة 10 أضعاف أو أكثر ، ويمكن أن ينتقي بدرجة معقولة النويدة أو النويدات المطلوبة.

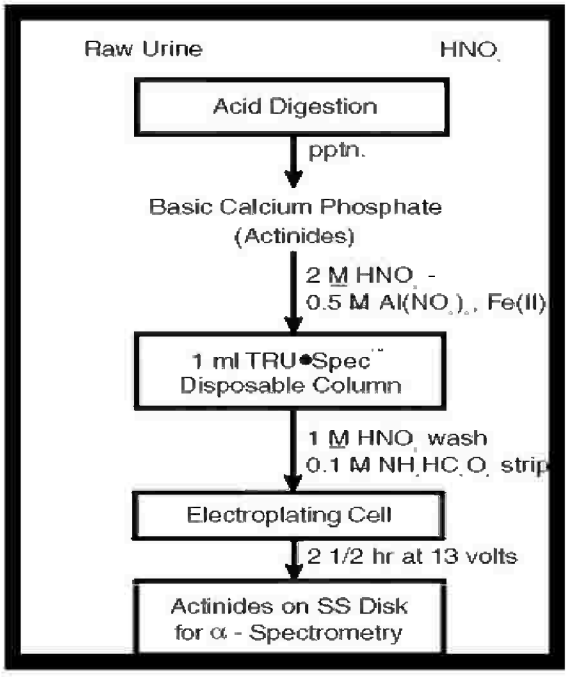
الاستخلاص يفترض أن النويدات في محلول ايوني حقيقي في وسط مائي. النويدات لا يمكن استخلاصها على هذا النحو من المحاليل المائية والغروية ، أو إذا كان المحلول المائي يحتوي على مواد عضوية معقدة. الفصل الكيماوي في منظومة استخلاص السائل يعتمد على معامل التوزيع K_D , للأيونات ويكون من الضروري إجراء عدة عمليات للاستخلاص على العينة للحصول على كمية عالية من النويدات المطلوبة.

تقانة التبادل الأيوني تعتبر واحدة من أكثر الطرق فعالية وشيوعا للفصل الكيميائي. على الرغم من أن هذه الطريقة يمكن أن تتم بطريقة "الدفعات " "batch"، ولكن من الأكثر سهولة أجراءها في العمود. في حالة العينات المذابة في وسط حامضي مائي ، فان ألايونات المطلوبة (الا كتينات المعقدة) يستعاض عنها بالأيونات المضادة "counter-ions" على مادة التبادل الصمغية exchange resin ، بينما تمر الأيونات الأخرى وتطرح. بعد ذلك يزال العنصر المطلوب من المادة الصمغية بتعديل تركيز الحامض و بالاختيار الدقيق للمعايير ، فان إجراءات التبادل الأيوني يمكن أن تؤدي فصل جيد للغاية. وعلاوة على ذلك ، فإنها يمكن أن تستمر إلى حد كبير دون مراقبة ، فإنها طريقة ذات نطاق واسع لمعاملة العينات. ويوضح الشكل (5– 25 أ) طريقة فصل الاكتينات من البول.

3- تهيئة المصدر: .الخطوة التالية بعد الفصل ، هي ترسيب عينة للحصول على المصدر المناسب. إنتاج المصادر المناسبة بعد فصل العينة واحدة من أصعب واهم مراحل تحضير العينة. من أجل الحصول على أفضل قدرة لفصل الطاقات في طيف ألفا ، من الضروري ترسيب طبقة رقيقة مسطحة متماثلة. ومن الناحية المثالية ، ينبغي أن تكون العينة المحضرة بشكل طبقة أحادية الذرة monoatomic لبواعث جسيمات ألفا من دون وجود مواد غريبة فوق هذه الطبقة لتوهين أشعة ألفا. يجب أن تمتاز العينة بسهولة التعامل ، وان تكون مستقر كيميائيا ، وازاله كل اثر traces للمذيبات والحوامض لمنع الاضرار لحجرة العد والكاشف. تتكون منظومة طيف جسيمات الفا من الكاشف الموضوع في حجرة التفريغ والذي يتصل بالمكبر والمكبر الاولي لغرض

تحويل الاشارة الى اشارة كهربائية وتكبيرها ثم محلل متعدد القنوات وشاشة العرض الشكل (5– 25 ب).

الشكل (5– 25 أ) طريقة فصل الاكتينات من البول



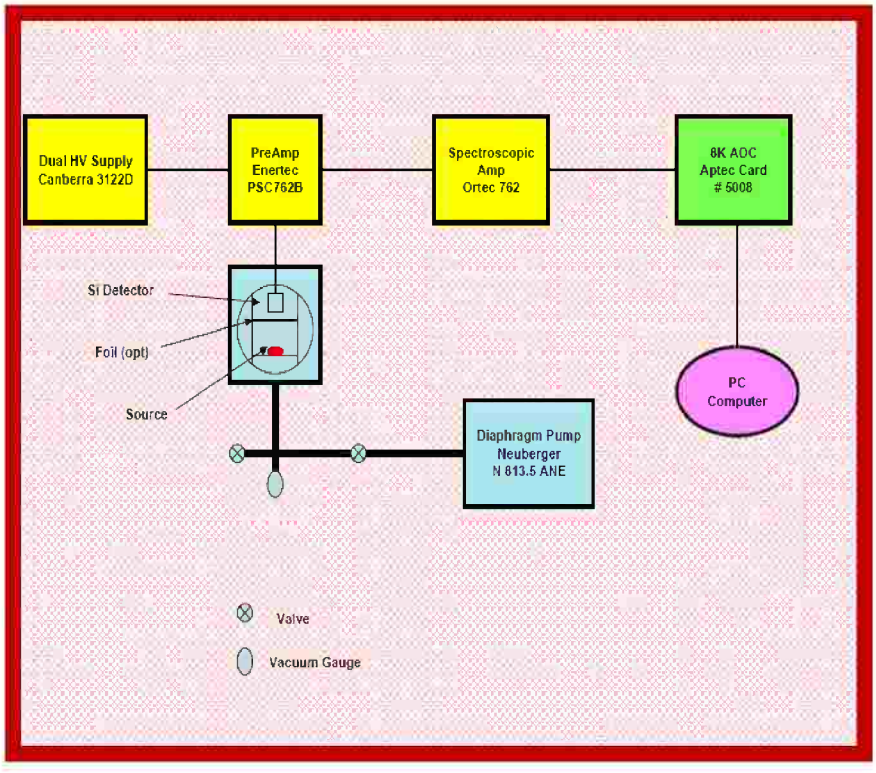
اختيار مكونات المنظومة Component Selection

بسبب الطبيعة الحرجة للتطبيق الطيفي لجسيمات ألفا ، والمشاكل الصعبة في تحقيق نتائج جيدة ، فان اختيار مكونات المنظومة بالغ الأهمية لان كل مكون يمكنه التغلب على المشاكل وفقا للتصميم ومدى ملاءمتها للتطبيق. احد أهم هذه المكونات الكواشف Detectors :

أكثر انواع الكواشف شيوعا هو كاشف الحاجز السطحي surface barrier detector. وعادة ما يستخدم الكاشف مع محلل متعددالقنوات. الجمع الجيد لطيف ألفا يعتمد على مواصفات الكاشف. ولان المسافة بين العينة والكاشف قليلة في التحليل الطيفي لجسيمات ألفا .

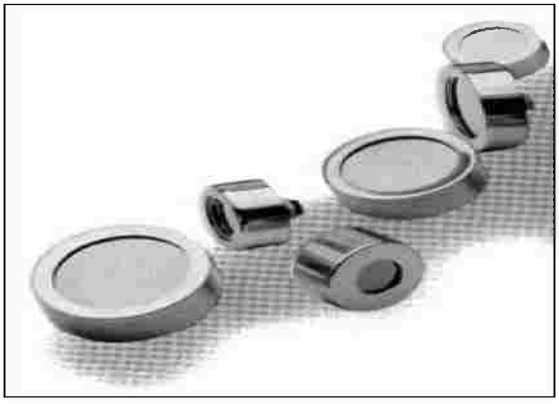
فان العديد من جسيمات ألفا تسقط على الكاشف بزاوية حادة نتيجة لزيادة السمك الفعال لنافذة الدخول وهذا يمكن أن يؤدي إلى فقدان الطاقة. الخسارة في الطاقة أو التطوح straggling فيها يؤدي إلى قدرة فصل سيئة. للحد من هذا التأثير أنتجت بعض الشركات حديثا كاشف جديد ينتج عن زرع السيلكون ويسمى (الكاشف الناتج عن زرع غير فعال لسيلكون مستو Passivated Implanted Planar Silicon- PIPS) بدلا من كاشف سيلكون الحاجز السطحي.

شكل (5 – 25ب) مخطط لمنظومة طيف جسيمات الفا



الكاشف الجديد تكون فيه نافذة الدخول رقيقة للغاية فتكون خسائرها للطاقة أقل ، وهذا يعني قدرة فصل أفضل الشكل (5– 26).

شكل (5- 26) كواشف جشيمات الفا نوع PIPS



بعض كواشف السليكون يكون حجمه الفعال سميكا عادة ما يستخدم لتحليل طاقة جسيمات بيتا .هذه الأنواع من كواشف (PIPS) ألفا لها خلفية قليلة جدا في العادة أقل من (0.05 counts/hr-cm^2) عند مدى الطاقة من 3 الى 8 MeV نافذة الدخول المزروعة ايونيا ذات طبيعه قوية وموثوق بها وهي نحو نصف سماكة نافذة كاشف السليكون للحاجز السطحي SSB.

إضافة لذلك فان كواشف (PIPS) لها من السمات التي تعزز أداءها مقارنة بكاشف السليكون للحاجز السطحي (SSB). وتشمل السمات :

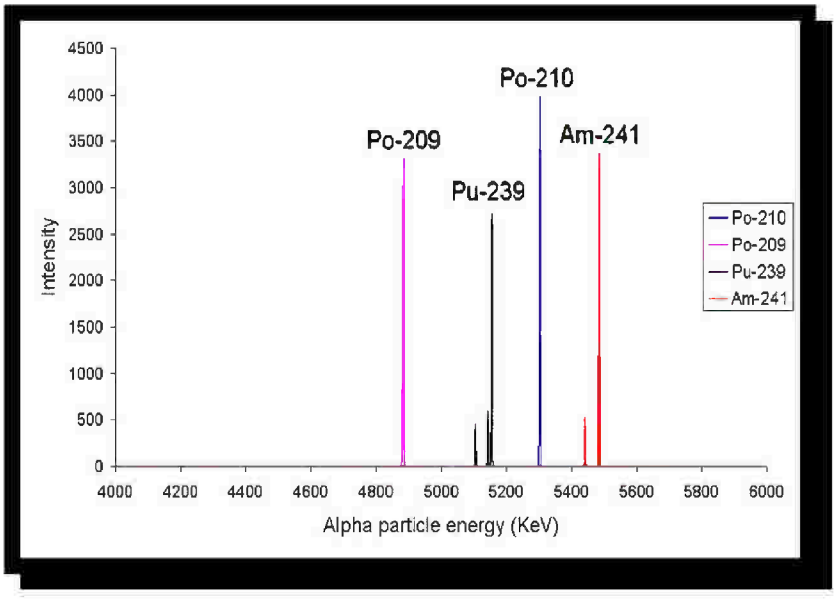
1- انخفاض التيار المتسرب والذي يؤدي لتحسين استقرار الكاشف عند تغير درجات الحرارة والزمن.

2- انخفاض الضوضاء والذي يؤدي لتحسين قدرة الفصل والحصول على طيف جيد كما في شكل (5- 27).

معايرة المنظومة Calibrating the System

من أجل ضمان دقة القياس و تحديد نويدات ألفا المنبعثة من النموذج ، فمن الضروري معايرة المنظومة لكل من الطاقة والكفاءة. أسهل وأكثر الطرق فعالية لإنجاز هذه المهام هو استعمال مصادر عيارية ذات جودة عالية ومنها مصدر عياري يتكون من خليط من مصادر باعثة لجسيمات ألفا.

شكل (5- 27) طيف بعض النظائر الباعثة لجسيمات الفا



تحضر هذه المصادر بالترسيب الكهربائي لمزيج من النويدات الطويلة العمر (^{238}U, ^{234}U, ^{239}Pu, ^{241}Am)) على قرص من الحديد المقاوم للصدأ المصقول جيدا . النشاط الاشعاعي لكل من النويدات تبقى محافظة على مستوى ثابت يقترب من نحو 100 انحلال في الدقيقة (dpm) .

ومن الموصى به أن يتوفر مصدر معايرة واحد لكل منظومة قياس واحدة لتوفير أقصى قدر من الكفاءة للاجهزة وزمن للتشغيل. قياس مصادر ألفا المختلطة للمعايرة يسمح بالمعايرة في الوقت نفسه معايرة العلاقة بين القناة – الطاقة . قياس الكفاية الفعالة للكشف عن جميع الحجر في المنظومة ممارسة جيدة لرصد هذه البارمترات بشكل منتظم.العديد من المختبرات تستخدم المصادر المعيارية أسبوعيا لتحقق ضمان الجودة.

العد الروتيني Counting Routine

عادة ما تكون العينات المجهزة بشكل دفعات batches يمكن الحصول على ناتج دقيقة ونوعية مقبولة. الدفعات تنظم على اساس نوع العينة (الأحيائي ،البيئي ، والصناعي

- - الخ) ، والعناصر المطلوب قياسها (U, Pu, Th) .عدد العينات في دفعة معينة قد تكون متغيرة في اليوم الواحد ويتوقف ذلك على حجم العمل. ولذلك فانه من الشائع بأن العينات من الدفعات المتعددة ، كل منها تحتوي على عناصر مختلفة ، يتم عدها في المطياف طوال الليل overnight . لذلك ، في أي مجموعة من العد فان كل حجرة من حجر ألفا قد تكون محملة بعينات مختلفة.

كما سبق شرحه ، فان عملية الفصل الكيمياوي للعناصر ضرورية للحصول على حساسية قياس جيدة . برمجيات التحليل يمكن الاستفادة منها عن طريق ترميز نوع العينة و تحديد معالمها. ان معرفة النظائر المتوقعة يسمح باستخدام منهجية التحليل للمنطقة ذات الاهمية Region of Interest (ROI) .

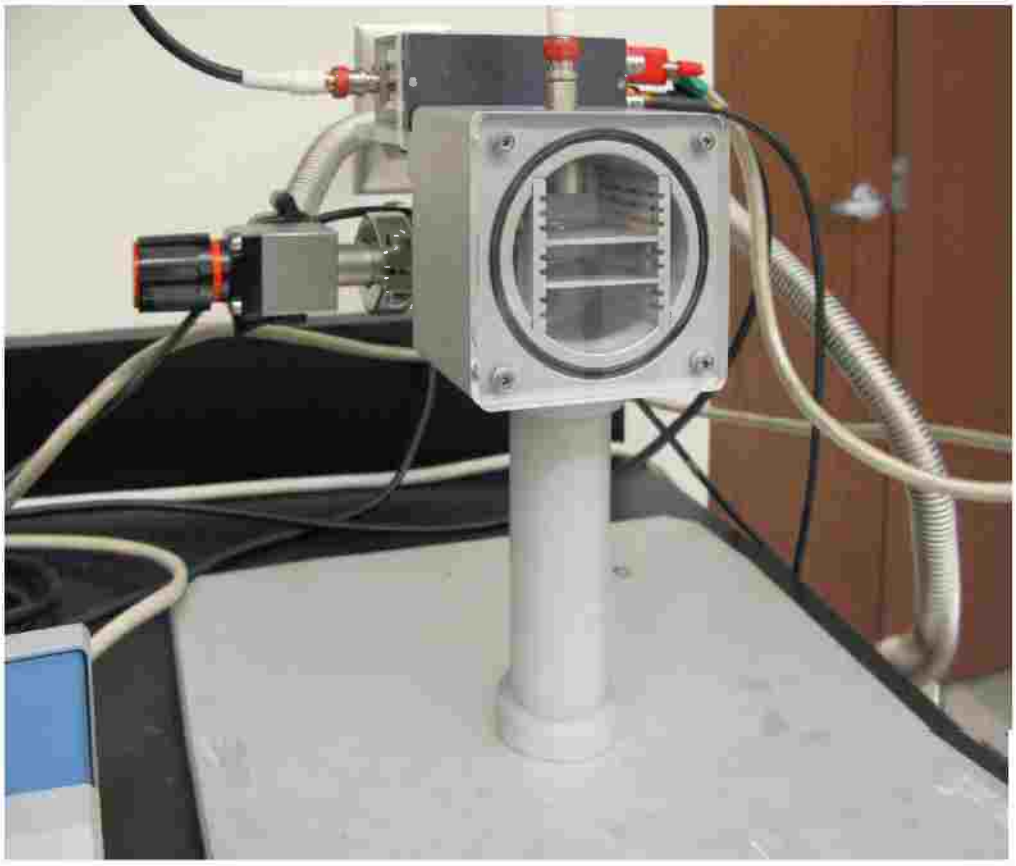
إدارة و تشغيل منظومة التفريغ

ينجز عد التحليل الطيفي لجسيمات ألفا عندما تكون العينات تحت التفريغ شكل (5 -28) . مسألة إدارة منظومة التفريغ قد عرفت جيدا منذ ظهور كواشف PIPS، إن تسليط ضغط واطئ داخل حجرة كاشف سيلكون الحاجز السطحي SSB يؤدي في معظم الأحيان إلى تخريب الكاشف. والواقع أن معظم المطاييف المتوفرة في الأسواق هذه الأيام تقوم بالقطع التلقائي لجهد الانحياز عند المستوى الموضوع من المصنع لحماية الكواشف من الموديلات القديمة .

كواشف نوع PIPS يمكن إخضاعها لمدى واسع من الضغوط الواطئة أثناء تشغيله الحفاظ على مستوى ثابت من الضغط في جميع الأوقات ، لم يعد عاملا مهما ويمكن للمشغل أن يحول عنايته إلى قضايا اخرى.

للحصول على قدرة فصل جيدة ، فمن الأفضل أن يتم الحفاظ على ضغط منخفض حيث ان منظومة التفريغ ، يمكن ان تصل الى ضغط اقل من 50 مايكرون وباستمرار تشغيل المضخات ، يمكن الحفاظ على هذا المستوى من الضغط المنخفض بالنسبة لمعظم العمليات الروتينية ، فان تغيير العينة بين حين وآخر لا تثير التعقيدات.

شكل (5- 28) منظومة تفريغ حجرة مطياف الفا



المشغل يجب ان يراعي عنما يجب تغير عينة واحدة في حين أن القسم الآخر من العينات لازالت مستمرة في العد. ويمكن أن يحدث هذا حتى في العمل الروتيني لبعض المختبرات التي تعمل مطايفها على مستوى صغط منخفض. أحيانا ، قد توضع في الحجرة عينة ذات نشاط اشعاعي عالي بحيث أن هناك خطر التلوث ، لذلك لا بد من إزالتها بسرعة. لإزالة العينة ، يجب على المشغل تنفيس VENT المطياف ،وذلك بارجاع الصمام الى موضع التريث HOLD ، ثم إزالة العينة ، ثم ارجع الحجرة الى عملية أ لضخ.جميع الكواشف عن كل خط التفريغ يجب ان تكون

من نوع PIPS لان وجود كواشف من نوع SSBs وتعرضها لرفع لحظي لضغوط يمكن أن يتلف الكاشف. منظومات مطياف جاما يمكن ان تكون حجرة واحدة ، مجموعة حجر ، اومنظومة متنقلة . شكل (5- 29) .

اذا كانت الكواشف مجموعة حجر ليس جميعها من النوع PIPS ، يجب على المشغل وضع جميع الحجر في خط التفريغ على موضع التريث HOLD ، ثم تنفيس الحجرة التي تحتوي عينة ذات نشاط اشعاعي عالي وإزالتها. ثم تعاد الحجرة ببطئ الى موضع الضخ.

شكل (5 - 29) منظومات طيف جسيمات الفا

مجموعة من الحجر

حجرة تفريغ واحدة

جهاز محمول لقياس الفا

في تلك المرحلة ، يمكن للحجر الأخرى أن تعاد إلى عملية التفريغ. هذه العملية شاقة ، ولكن يجب القيام بها لتجنب التلوث والحفاظ على الفراغ في الحجر الاخرى. أسهل وأفضل وسيلة للتعامل مع هذه الحالة هو استخدام نوع من الصمامات المزدوجة ومضخة تفريغ اخرى . وهذا يسمح لعزل أي حجرة لتعمل وحدها . بعد ذلك يمكن تنفيس و ضخ الحجرة بمضخة منفصلة قبل أن يوضع على التفريغ العالي . العديد من المختبرات لا تجد هذه العملية مريحة وحسب ، ولكنها تجد انها يقلل من إمكانية تنفيس الحجرة مصادفة اثناء قيامها بالعد .

تجنب التلوث المرتد Avoiding Recoil Contamination

تلوث الكاشف يمكن أن يحدث عندما تنتقل جسيمات ملوثة من العينة إلى الكاشف وتزرع على سطح الكاشف بواسطة طاقة الارتداد التي تنقل من الذرة الباعثة لنواة ألفا. طاقة الشظايا قد تكون كافية لعملية الزرع في الكاشف بحيث لا يمكن إزالتها بطريقة غير اتلافية .

الكثير من التلوث العارض للكواشف من النوع PIPS يمكن إزالته عن طريق التنظيف بالقطن المشبع بالأسيتون. التلوث المرتد يمكن أن يكون أكثر صعوبة و تستخدم خطوتين جنبا إلى جنب للحد من التلوث المرتد.

أولا :الضغط العالي يوفر طبقة امتصاص لجزيئات الهواء لمنع وصول النواة المرتدة الى الكاشف.

ثانيا : تطبق فولطية انحياز سالبة طفيفة على العينة نفسها لجذب النواة إلى سطح العينة ، بدلا من السماح لها بالالتصاق بالكاشف أو الحجرة. جدار الهواء الموصى به بحدود 10 Hg/cm^2. للهواء الجاف يمكن ان تحدد طبقة الهواء كدالة لضغط الحجرة والمسافة بين الكاشف والمصدر عن طريق المعادلة التالية :

طبقة الهواء (g/cm2) = 1.6 x الضغط (Torr) × المسافة بين الكاشف والمصدر (سم).

وبالتالي فاذا كانت المسافة بين الكاشف والمصدر 2 سم و الضغط 3 من الضغوط الجوي ، فان سمك طبقة الهواء سيكون 9.6 g/cm^2. هذا الضغط يتحقق بإضافة صمام التحكم في الضغط على خط الفراغ وتعديل الخط الى الضغط المطلوب.

5 - 9 العوامل التي تؤثر على الحد الأدنى للكشف Minimum Detectable Activity (MDA)

العوامل الرئيسية التي تؤثر على الحد الأدنى للكشف (MDA)) في التحليل هي :

- الخلفية لمنظومة العد.
- النسبة المئوية للوفرة من انبعاثات ألفا من النظير.
- الحصيلة yield في عملية النفصل الكيميائي.
- حجم العينة الذي يجري عدة .
- كفاءة منظومة الكشف.
- زمن العد.

العلاقة بين الحد الأدنى للكشف والكفاءة يمكن وصفها بالعلاقة البسيطة التالية :

الحد الأدنى للكشف يتناسب مع 1/ الكفاءة

النسبة المئوية لوفرة النظير هي دالة للنظير الذي يتم قياسه وبالتالي فإنه لا يمكن السيطرة عليها. العوامل الأخرى التي يمكن جعلها في الوضع الامثل باستخدام تقانة جيدة أو من خلال الاختيار الدقيق للجهاز وطريقة اختيار العينة.

للحصول على افضل حدود دنيا للكشف (MDAs) في أقصر زمن للعد ، فان منظومة التحليل ينبغي أن يكون لها أقل قدر ممكن من الخلفية وأعلى كفاءة ، أن العمليات الكيميائية يجب ان تعطي الحصيلة الأمثل وتحقق أقصى قدر من كمية من العينة دون انقاص قدرة الفصل .

الكواشف نوع PIPS مناسبة بشكل مثالي لهذه التطبيقات لأنها متاحة باحجام يمكن ان تعظم الكفاءة الهندسية والحصول على عرض ذروة كبير وعلى كفاءة جوهرية عالية مقارنة من السيليكون الحاجز السطحي (SSB).

السيطرة النوعية Quality Control

هناك مطلبين مهمين في الصناعة ينبغي التركيز عليهما بشكل أساسي عند السيطرة النوعية في المختبرات هما :

أ - الزيادة الحادة في حجم العينة .

ب - تزايد الحاجة إلى تطبيق المعايير القانونية.

معظم المختبرات تخضع لمراجعات متكررة للسيطرة النوعية التي يقوم بها العملاء ، ومراقبة الجودة الداخلية والهيئات التنظيمية. وتعتمد مراقبة الجودة على ثلاث مسائل بسيطة نسبيا :

1- هل لديك سجلات السيطرة النوعية (مثل مخططات السيطرة)؟

2- كيف يمكن الكشف عن الظروف التي تخرج عن نطاق السيطرة؟

3- كيف تتحقق من تصحيح المشاكل؟

ضمان الاجابة على هذه الأسئلة في جميع الأوقات هي وظيفة برنامج ضمان الجودة الشاملة و منهجيات السيطرة النوعية و تتضمن :

- جمع البيانات بطريقة فعالة ومتاحة وسهلة عن طريق توفر قاعدة بيانات واسعة لمراقبة الجودة لمنظومة المطياف قد تصل الى ما يقارب ثلاثين بارامتر لرصد وتتبع كل كاشف منها و الحصيلة الكيميائية لمختلف العناصر.
- مشغل النظام يخطر تلقائيا عن أي كمية خارج الحدود.
- سجل لملفات واسعة النطاق تضمن ما اتخذ من إجراءات تصحيحية. مراقبة الجودة ، تختبر مولد النبضات ، الخلفيات ، - - الخ وتتم بشكل روتيني.

وعلاوة على ذلك ، واحد من الطرق لضمان دقة المنهجية المستخدمة في عملية فرز وعد العينات من خلال استخدام عينات سيطرة . وعادة مايقاس العد لهذه العينات مع العد لعينات معلومة النشاط الاشعاعي التي يمكن استخدامها للتحقق من تشغيل النظام على الوجه الصحيح.

عينة السيطرة تستخدم للمصادقة على عملية الفصل الكيميائي ، اعداد العينة ، وعد العينة. وعادة 10 ٪ من العينات تعتبر عينات سيطرة.

عينات الكشف الفارغة (reagent blank) هي عينة لمراقبة الجودة التي تستخدم للتأكد من احتمال حصول أي تلوث خلال الفصل الكيمياوي أو اعداد العينة . عادة 5% من العينات هي عينات كشف فارغة.

وبما أن عمليات السيطرة هي جزء من عملية العد الروتينية ،فان البرامج التحليلية يجب أن تكون قادرة على معرفتها على هذا النحو ، والتعامل معها في نحو يعطي المشغل معلومات بشأن سلامة المنظومة.

هذه العملية تتم تلقائيا ، من خلال معرفة نماذج السيطرة ونماذج الكشف الفارغة، وقياسات مستمرة خاصة والتحقق من عمليات مراقبة الجودة وحدود التحقق (limit verification) .

وختاما بحكم طبيعة جسيمات ألفا فان التحليل الطيفي لجسيمات ألفا من التطبيقات التي تتسم بالتحدي. ولكن مع المعدات المناسبة ، والتدريب العملي والنظري المبرمج، وتحضير جيد للعينة والانتباه إلى المضاعفات المحددة للتطبيق ، فإنه يمكن أن تؤدي دقة ونجاح القياس. لا توجد حلول سريعة ، ولكن هناك حلول.