كاشف الإشعاع

أقتبست هذه المقالة من الموسوعة العربية www.arab-ency.com

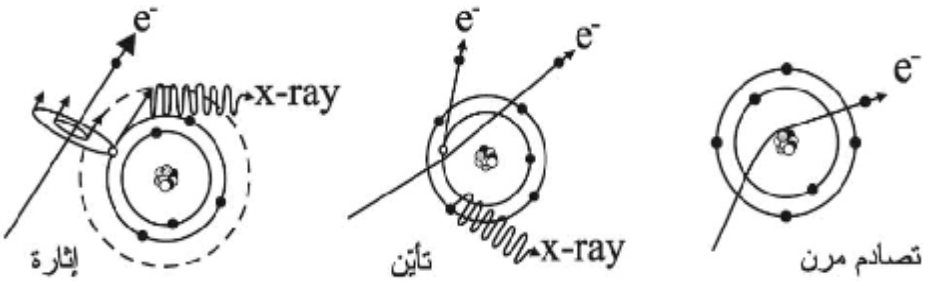
مبدأ الكشف

تنتج من تآثر الأشعة المؤينة مع المواد المختلفة آثار عدة تتوقف على نوع الإشعاع وطبيعته وشدته، وكذلك طبيعة المادة. وتسمى المواد التي تتأثر بالإشعاع بشكل يمكن معه الاستفادة من الأثر الناتج «كواشف الإشعاع» radiation detectors. فعندما تتآثر الأشعة على اختلاف أنواعها سواءً أكانت جسيمات مشحونة أم جسيمات غير مشحونة، مثل النترونات، أو حتى الأشعة الكهرطيسية؛ مع الكاشف، فإن الحصيلة النهائية لتبادل التأثير بالنسبة لأغلب أنواع الكواشف هي تَشَكُّل كمية من الشحنات الكهربائية ضمن مادة الكشف ــ أو ما يسمى بالحجم الفعّال للكاشف ــ التي تجمع عند قطب معاكس.

تصنيف الكواشف

تصنف كواشف الإشعاع من حيث الطبيعة الفيزيائية لمادة الكشف إلى نوعين رئيسيين؛ هما الكواشف الغازية والكواشف الصلبة.

1ــ الكواشف الغازية

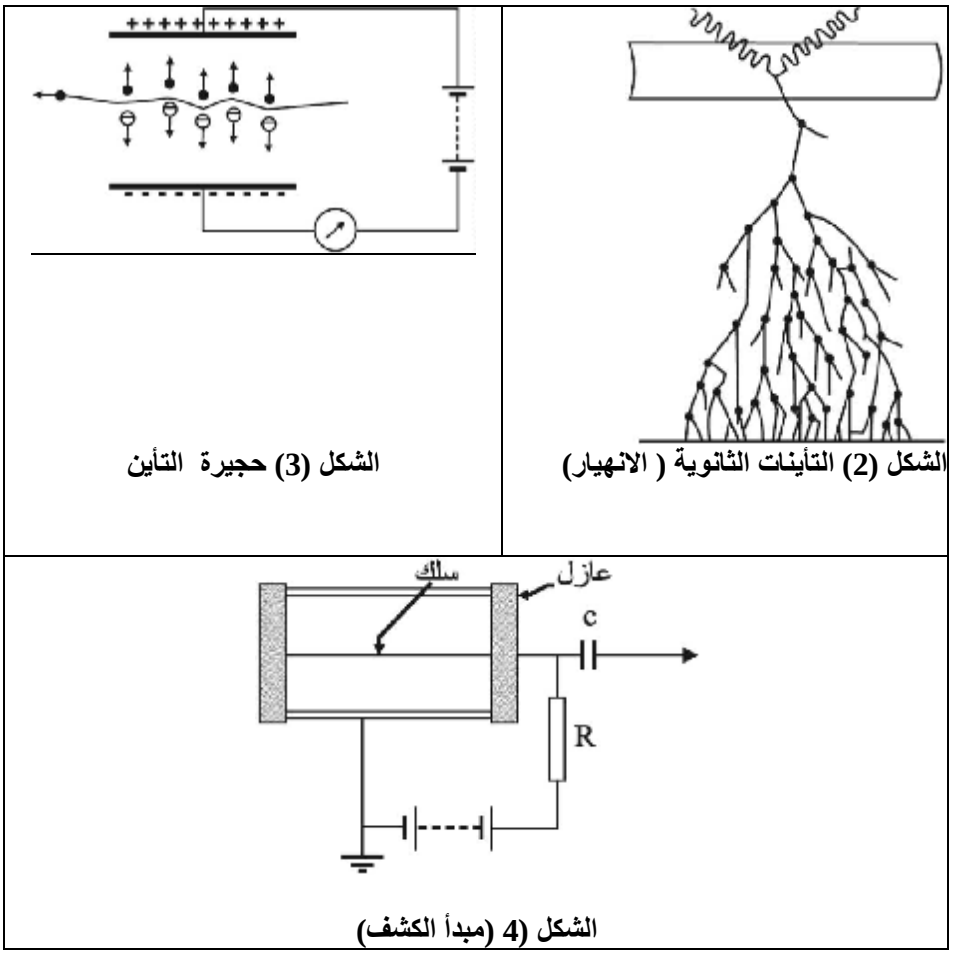


الشكل(1)

تعد الكواشف الغازية من أقدم أنواع الكواشف الإشعاعية، فقد استخدمت منذ أوائل القرن الماضي. تعتمد تقنية الكشف في هذا النوع من الكواشف على مبدأ تجميع الأزواج الأيونية المتولّدة في الغاز (وسط الكاشف) نتيجة تفاعل الإشعاع مع ذرات الغاز، فيتولد الزوج الأيوني المؤلف من الإلكترون وذرة الغاز المتأينة من جراء مرور الأشعة في الغاز، وتراوح الطاقة

اللازمة لتوليد الزوج الأيوني في أغلب الغازات المستخدمة ما بين 30 و35 إلكترون فولط، أي أنه يتولد نحو 30000 زوج أيوني من جراء مرور جسيمة مشحونة طاقتها 1مليون إلكترون فولط.

ويُردّ نوع التفاعلات الممكنة للجسيمات المشحونة مع الوسط الغازي إلى أحد الأشكال المبينة في الشكل (1).



الشكل (2) التأينات الثانوية (الانهيار)

الشكل (3) حجيرة التأين

الشكل (4 (مبدأ الكشف)

تُنتج هذه الأزواج الأيونية نتيجة التصادم أزواجاً أيونية جديدة تسمى بالثانوية؛ ليصل هذا التضخيم في عدد الإلكترونات إلى حد الانهيار، ويسمى انهيار تاونسند Taunsand Avalanche (الشكل 2).

تقسّم الكواشف الغازية بحسب شروط تشغيلها إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي حجيرات التأين، العدادات التناسبية، وعدادات غايغر ــ مولر Geiger-Müller counters.

حجيرات التأين: تتألف حجيرة التأين بشكل أساسي من حجم مغلق من الغاز غُمس فيه قطبان طُبِّق بينهما كمون كهربائي ومقياس حساس للتيار (الشكل 3). إن قياس التيار في الدارة الخارجية هو قياس مباشر لتيار الأيونات المجمعة على الأقطاب والناشئ أصلاً عن توليد الأزواج الأيونية نتيجة لتفاعل نوع معين من الإشعاع في الحجم الفعال للحجيرة، فبغياب الجهد لايمكن قياس أي تيار عبر الدارة الخارجية، وتضمحل جميع الشحنات المتشكلة في الحجم الفعّال بإعادة اتحادها بعد تشكلها. وبزيادة الجهد المطبَّق بين قطبي الحجيرة يزداد تأثير الحقل الكهربائي المتولد، وتبدأ عندها عملية جرف كل الأيونات المتشكلة. ولا تؤدي زيادة الجهد المطبّق على القيمة السابقة إلى زيادة في قيمة التيار المقيس؛ لأن كل الشحنات المتشكلة تمّ التقاطها، ومعدل تشكلها ثابت.

تدعى منطقة العمل هذه منطقة الإشباع، وتميز منطقة عمل حجيرات التأين شائعة الاستخدام، يراعى في تصميم حجيرات التأين الشكل الهندسي للحجيرة ونوع الغاز المختار وضغطه وذلك بحسب تطبيقات القياس. تستخدم حجيرات التأين في أجهزة المسح الإشعاعي لأغراض المراقبة وقياس الجرعة الإشعاعية إضافة إلى استخدامها لمعايرة المنابع المشعة وتطبيقات قياس طاقة الإشعاع.

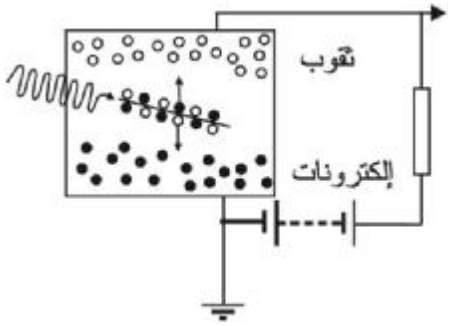
العداد التناسبي وعداد غايغر ــ مولر: العداد التناسبي هو أسطوانة مملوءة بالغاز يمر فيها سلك معزول على طول محورها حيث تشكل الأسطوانة المهبط والسلك المحوري المعزول المصعد (الشكل4). تعزى النبضة الكهربائية المتشكلة في هذا النوع من الكواشف، بخلاف حجيرة التأين، إلى ظاهرة التضاعف التي تحدث في الغاز بالنسبة للأزواج الأيونية الأصلية المتشكلة نتيجة تطبيق فرق كمون عال بين المهبط والمصعد. ونتيجة لذلك؛ فإن سعة النبضة الناتجة عن العداد التناسبي أكبر من تلك الناتجة عن حجيرة التأين، ويشبه ذلك نوعاً من التضخيم الذاتي للإشارة. تتناسب النبضة الكهربائية المتشكلة مع الجهد المطبَّق؛ الأمر الذي أمكن معه استخدام تلك الكواشف في تطبيقات الكشف ومطيافية الطاقة للتمييز بين الجسيمات المختلفة إضافة إلى استخدامها في كشف النترونات. وتصنَّع تلك الكواشف بأشكال هندسية مختلفة، وتملأ بمزائج غازية متنوعة لتحقيق غرض القياس المطلوب.

تؤدي زيادة الجهد المطبق بين طرفي العداد إلى فقدان التناسبية الخطية بين نبضة الخرج وطاقة الإشعاع المتفاعل، ويلاحظ أن لكل النبضات المتشكلة المطال نفسه، ولاتعطي أي معلومة

عن طاقة الإشعاع. تتميز منطقة عمل العداد بحدوث الانفراغ على طول المصعد عند تفاعل الإشعاع مع الغاز، بغض النظر عن نوعه وطاقته، ويسمى العداد في هذه الشروط التشغيلية بعداد غايغر ــ مولر. تُملأ هذه العدادات بمزيج من غاز الأرغون والكحول وأحياناً بمزائج أخرى تتألف في الغالب من غاز نبيل noble gas وبخار عضوي. ويصبح العداد حساساً لكشف النترونات إذا مُلئ بغاز يحتوي على البورون. إن أكثر تطبيقاته شيوعاً هي استخداماته للكشف عن الإشعاعات المختلفة والتحري عن المصادر المشعة.

2ــ الكواشف الصلبة

المبدأ العام للكشف ــ كما مر سابقاً في الكواشف الغازية ــ هو تشكيل شحنة كهربائية من عدد كبير من حاملات الشحنة (إلكترون ــ أيون موجب) تتناسب في معظم الأحيان مع طاقة الإشعاع المودعة في الكاشف. ويسعى المصممون إلى تحقيق تلك الخطية بطرائق مختلفة. وإن استخدام مواد صلبة تقوم على المبدأ ذاته سيؤدي إلى زيادة عدد حاملات الشحنة كثيراً؛ الأمر الذي يؤدي إلى تحسين مواصفات جملة الكشف وزيادة مردود الكشف كثيراً، هذا إضافة إلى تصغير حجم الكاشف.



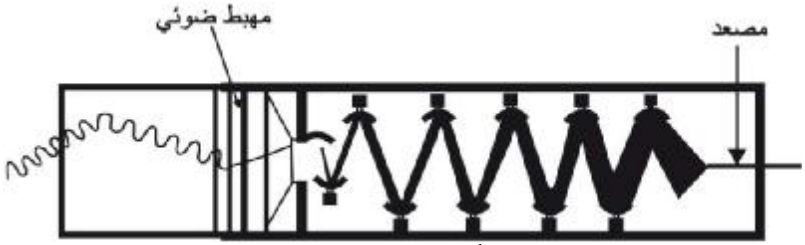
الشكل(5)

الكواشف من أنصاف النواقل: تحقق أنصاف النواقل وإلى حدّ كبير شروط الكشف وقياس الإشعاع، فهي من حيث المبدأ حجيرات تأين؛ كثافة مادّة الكشف فيها عالية جداً إلى الدرجة التي يكون فيها الوسط صلباً. تتبادل الأشعة التأثير مع نصف الناقل بشكل يتم فيه إنتاج عدد معين من الأزواج الأيونية (إلكترونات ــ ثقوب) (الشكل 5)، حيث يكافئ الثقب هنا الأيون الموجب في الكاشف الغازي. يتناسب عدد الأزواج الأيونية المتولدة مع الطاقة المفقودة في الحجم الفعال للكاشف، حيث يتم تجميعها بين طرفي مادة نصف الناقل اللذين يكافئان أقطاب التجميع في

الكاشف الغازي، أي يمكن القول: إن الكواشف من أنصاف النواقل عبارة عن حجيرات تأين صلبة.

إن الطاقة اللازمة لإنتاج الزوج الأيوني (إلكترون ــ ثقب) هي نحو 3 إلكترون فولط مقارنة بـ 30 إلكترون فولط في الكاشف الغازي؛ الأمر الذي يعكس جودة النبضات الناتجة من تلك الكواشف. تُصنَّع كواشف أنصاف النواقل عموماً من شرائح السليسيوم والجرمانيوم بأشكال هندسية مختلفة تبعاً لتطبيقات القياس. وقد مكّنت المواصفات التشغيلية الممتازة لتلك الكواشف من استخدامها في تطبيقات مطيافية الطاقة، كمطيافية ألفا وغاما إلا أن حساسيتها العالية للبيئة المحيطة وشروط تشغيلها الخاصة، مثل تبريدها إلى درجة حرارة الآزوت السائل، إضافة إلى الكلفة العالية لتصنيعها جعل استخدامها مقتصراً أساساً على المختبرات التحليلية في مراكز البحث العلمي.

الكواشف الومضانية: تبدي بعض المواد خصائص إصدار ضوئية لدى تفاعل الإشعاع المؤين معها، وتسمى تلك المواد بالوامضات، ومنها العضوية واللاعضوية، وتستخدم بأشكالها الفيزيائية الصلبة والسائلة والغازية.



الشكل (6) أنبوب المضاعف الفوتوني

تعمل الكواشف الومضانية على مبدأ الإثارة، فعندما تعبر الأشعة الكاشف تثير ذرات الوسط إلى سويات طاقية أعلى، وبعودتها إلى حالتها الطاقية الأساسية تصدر فوتونات تقع أطوالها الموجية في مجال الضوء المرئي، ويتناسب عدد الفوتونات الضوئية مع طاقة الإشعاع المودعة في الكاشف. يمكن تحويل تلك الإصدارات الضوئية إلى نبضات كهربائية بوساطة ما يسمى المهبط الضوئي وأنبوب المضاعف الفوتوني الذي يعمل على تضخيم الإشارة الكهربائية. وتتناسب سعة نبضة الخرج طرداً مع طاقة الأشعة المودعة في الكاشف؛ وبذلك يمكن استخدام هذا النوع من الكواشف في تطبيقات قياس طاقة الإشعاع للتمييز بين الإشعاعات المختلفة. تستخدم الوامضات اللاعضوية لكشف جميع أنواع الأشعة حيث يُستخدم الوامض المصنوع من يوديد الصوديوم في الكشف عن أشعة غاما rays (γ) ووامض كبريت التوتياء لكشف جسيمات ألفا α

particls ووامض الأنتراسين لكشف جسيمات بيتا β particls وقد مكنت سهولة صنع الكواشف الومضانية بأشكال هندسية مختلفة وبحجوم كبيرة وبكلفة منخفضة من جعلها واسعة الانتشار في تطبيقات كشف التلوث وقياسه، إضافة إلى استخداماتها في التطبيقات الطبية.

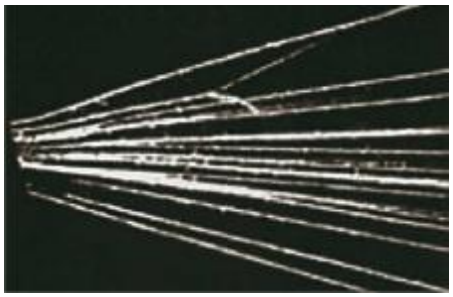
كواشف الأثر: تعتمد هذه الكواشف على تسجيل مسار الجسيمات العالية الطاقة الواردة، وذلك لاستنتاج المقادير الفيزيائية، مثل الشحنة والطاقة (الكتلة) والعزوم المغنطيسية من خلال حساب نصف قطر انحناء المسار وجهة التقعر وجهة المسار.

تعد الحجرة الضبابية وحجرة الفقاعات وحجيرة الشرارة أمثلة على كواشف الأثر.

الشكل (7) حجرة ويلسون الضبابية

الحجرة الضبابية (حجرة السحاب): إن أول جهاز وضع لرؤية مسارات الجسيمات المشحونة عند مرورها خلال المادة كانت حجرة السحاب cloud chamber التي اكتشفها ويلسون T.R.Wilson عام 1911 (الشكل 7)، وهي تتألف من وعاء ذي نافذة زجاجية والوجه المقابل مزود بمكبس يتم بوساطته زيادة الحجم الداخلي للحجرة المملوء بالهواء المشبع ببخار الماء، وبذلك يتحكم المكبس بدرجة الإشباع. ويؤدي التوسع المفاجئ إلى تمدد الغاز بسرعة وانخفاض درجة حرارته، ولكن بخار الماء لا يتكاثف إلا بوجود الأيونات الناتجة عن مرور الجسيمات، وبتتبع تجمع هذه الأيونات يتمّ رسم مسار مرور الجسيمات. ويمكن الاستدلال من شكل المسار وكثافته على نوع الجسيم، فجسيمات ألفا تشكل مساراً أكثر كثافة من مرور الإلكترونات.

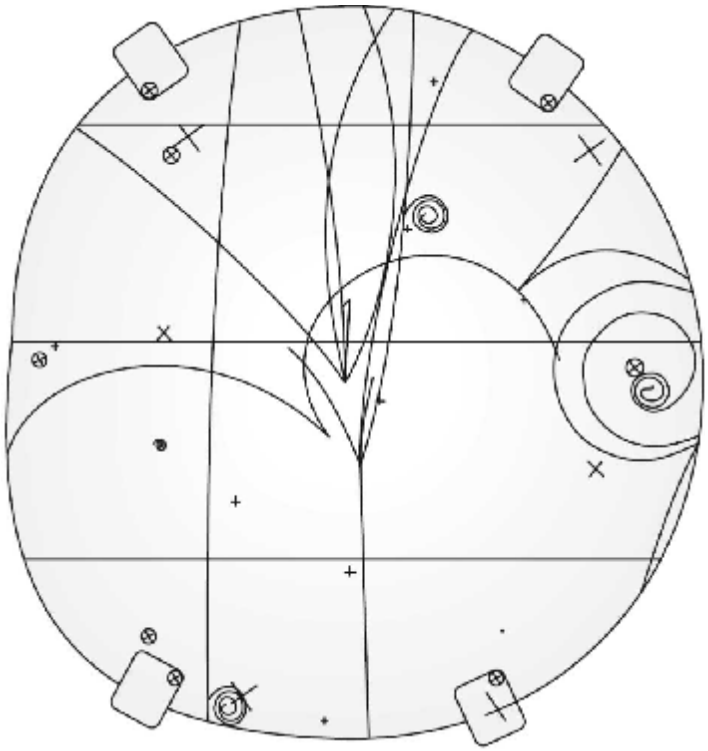
في حجرة ويلسون الضبابية يستخدم الماء لإشباع الهواء، ولكن أصبح من المألوف اليوم استخدام الكحول الإيتيلي أو مزيج من الكحول والماء، وعادة يكون الغاز المستخدم هو الهواء، ويستخدم في بعض الأحيان غاز الأرغون.



الشكل(8)

تنتج الجسيمات المختلفة أنواعاً عدة من المسارات، فجسيمات ألفا البطيئة تعطي مسارات مستقيمة وعريضة، وتعاني عند نهاية المسار انحرافاً حاداً نتيجة تصادمها مع نوى الأكسجين أو النتروجين الموجودة في الهواء، أما الإلكترونات البطيئة فتنتج مسارات متعرجة رفيعة حبيبية، في حين أن الجسيمات السريعة الخفيفة والثقيلة تعطي مسارات رفيعة مستقيمة وحبيبية. وتبين الصورة المأخوذة من قبل ويلسون مسارات الجسيمات في هذه الحجرة (الشكل 8).

تكمن مساوىء الحجرة الضبابية في أنها تحتاج إلى زمن معين بعد التمدد؛ لتستعيد نشاطها؛ لذلك يتعذر الحصول على تسجيل مستمر لما يحدث فيها. وفي عام 1939 أجرى العالم لانغسدُروف تطويراً للحجرة وحصل على حساسية مستمرة، وسميت هذه الحجرة بحجرة الانتشار الضبابية، والتي تتألف من وعاء يحتوي هواء أو أي غاز آخر، يحفظ القسم العلوي منها تحت حرارة معتدلة، أما القسم السفلي فيحفظ تحت درجة حرارة منخفضة. السائل المستخدم هو عادة الكحول الإيتيلي أو الكحول الميتيلي الذي يبخر في المنطقة الدافئة حيث يكون الضغط مرتفعاً، وينتشر البخار إلى الأسفل باستمرار من خلال منطقة يكون فيها التدرج الحراري العمودي محققاً بوساطة تبريد قعر الحجرة. وكلما انتشر البخار إلى الأبرد من مناطق الغاز تناقص ضغط بخار الإشباع بسرعة. ويوجد هناك حجم قرب القاعدة الباردة للحجرة حيث يتحقق عنده شرط فوق الإشباع؛ وبذلك يحذف زمن الدورة غير الحساسة للحجرة الضبابية التقليدية.



الشكل (9) صورة لحجرة فقاعية من الهدروجين عرضت لجسيمات ضديد البروتون بطاقة 8.8 ميغا إلكترون فولط

حجرة الفقاعات: لايمكن الكشف عن الجسيمات العالية الطاقة باستخدام حجرات السحاب؛ نظراً لعدم إمكان ملاحظة التأثير المتبادل للجسيمات العالية الطاقة بشكل كامل فيها. وللتغلب على ذلك تستخدم حجرة مملوءة بمادة لها قدرة إيقاف أكبر، وقد أدّى ذلك إلى اكتشاف الحجرة الفقاعية bubble chamber، وتم تصميم أول حجرة منها عام 1952.

من المعلوم أن السائل يغلي عادة مع تشكّل فقاعات بخاريّة عند نقطة الغليان، فإذا سخن السائل تحت ضغط مرتفع إلى درجة حرارة أعلى من نقطة غليانه الطبيعية، ومن ثم حُرِّر الضغط بشكل مفاجئ؛ فإن ذلك يؤدي إلى ترك السائل في حالة فوق نقطة غليانه، وإذا تحركت جسيمات مؤينة في السائل في أثناء بضعة ميلي ثانية بعد تحرير الضغط؛ فإن الأيونات المتشكلة على طول المسار تعمل مراكز تكثيف من أجل تشكيل فقاعات بخارية. وتنمو الفقاعات البخارية بمعدل سريع وتأخذ حجماً مرئياً في زمن من مرتبة 10 إلى 100 مكروثانية، ووفقاً لهذا المبدأ تعمل الحجرة الفقاعية.

والفقاعات تشبه القطرات في الحجرة الضبابية، إذ تكون مرئية تحت إضاءة قوية. فإذا أحدثت تفاعلات نووية في سائل الحجرة الفقاعية؛ فإن مجموعات المسارات تنحرف عن مركز

التصادم كما هي الحال في الحجرة الضبابية، ويتم تصوير هذه المسارات مقابل خلفية مظلمة (الشكل 9).

حجرة الشرارة: يعتمد مبدأ عمل حجرة الشرارة spark chamber على الانفراغ الكهربائي الذي يحدث في الغاز، مثل الذي يحدث في عداد غايغر ــ مولر، ويؤمن هذا الانفراغ معلومات عن الشكل الهندسي للمسار، مثل التي تعطيها الحجرة الفقاعية. ويستخدم هذا الكاشف على نطاق واسع في فيزياء الطاقة العالية.

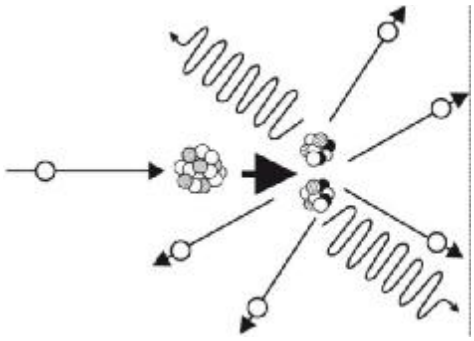
يعتمد مبدأ عمل هذه الحجرة على تطبيق كمون مرتفع بين صفيحتين مثبتتين في وعاء يحوي غازاً بحيث لايكون الحقل الكهربائي المتشكل كافياً للسماح بمرور شرارة، وإذا ما دخلت جسيمة مؤينة الحيز الغازي؛ فإنه تحدث شرارة تتبع مسار الأزواج الأيونية المتشكلة بوساطة الجسيمة المؤيَّنة، وقد استخدم العالم غريناتشر عام 1935 مرور الشرارة عبر الغاز الذي أُبِّن بوساطة الأشعة النووية للكشف عن جسيمات ألفا.

تتألف حجرة الشرارة في أبسط أشكالها من سلسلة من الصفائح المعدنية المتوازية الرقيقة والكبيرة، وتكون عادة مصنوعة من الألمنيوم، ومساحة سطحها بضعة أقدام مربعة، تفصل بينها مسافة 1سم ومثبتة في حجرة مملوءة بغاز النيون عند الضغط الجوي العادي، وتكون جميع الصفائح معزولة عن بعضها بعضاً، وتكون الصفحات الأولى والثالثة والخامسة موصولة بالأرض، أما الصفحات الثانية والرابعة والسادسة فمتصلة بمولّد نبضي ذي جهد مرتفع يعطي الصفائح كموناً مرتفعاً في أزمنة تفجير قصيرة من مرتبة مكروثانية لكل واحدة، ويكون هذا الكمون كافياً لجعل الشرارات تحدث بين الصفائح في المناطق التي تؤين بوساطة الجسيمات الداخلة إلى الحجرة. وهذه الحجرة حساسة لنحو نصف مكروثانية تلي تطبيق الجهد، وتنتج أي جسيمة مشحونة أخرى تمر في الحجرة في هذه الفترة على طول مسارها انفراغاً شرارياً مرئياً يمكن تصويره من الجانب، ويظهر تصوير جميع الشرارات المنفردة مقاطع مسار الجسيمة بين الصفائح، وتستخدم للتصوير آلتا تصوير إحداهما عمودية على الأخرى. والميزة الوحيدة التي تُفضِّل هذه الحجرة عن غيرها من الحجرات هي أن عملية القدح بسيطة، ويمكن دراسة كل حادثة منفردة تنتج بوساطة جسيمة واحدة.

كشف النترونات

النترونات neutrons هي جسيمات نووية لا شحنة خالصة لها، وهي تتفاعل مع نوى الذرات من خلال القوى النووية بأحد الأشكال الآتية المبينة في الشكل (10)، ويوضح الشكل (11) عملية انشطار النواة بعد التصادم مطلقة النترونات.

الشكل(10)



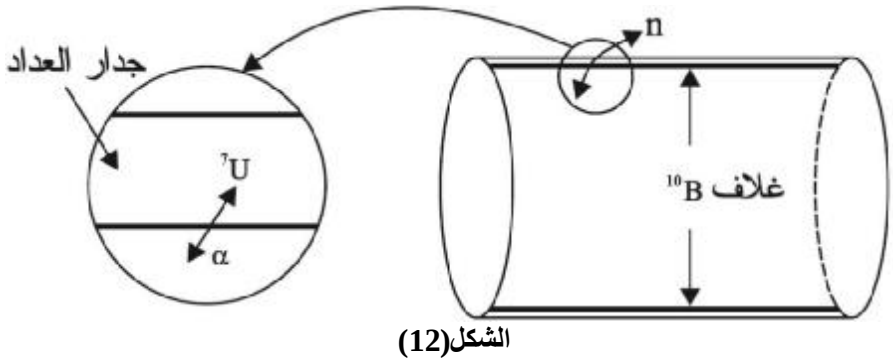
الشكل (11)

الانشطار بالنترونات

تُكشف النترونات بطريق غير مباشر؛ وذلك بوساطة عدادات كشف الجسيمات المشحونة أو فوتونات غاما الناتجة من تفاعل النترونات مع النوى، وأهم هذه العدادات:

1ــ عداد ثلاثي بور الفلور: يستخدم التفاعل (n,α) مع البور B^{10} لكشف النترونات الحرارية، لذلك يوضع غاز BF_3 في العداد التناسبي أو في حجرة التأين؛ والذي يعد جسيمات ألفا أو الليثيوم الناتجة من تفاعل النترونات مع الغاز وفق التفاعل الآتي:

$$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{7}_{3}L^{+++} + ^{4}_{2}He^{++} + 5e^{-}$$



الشكل(12)

عداد بورون المبطن

2ــ عداد بورون المبطن: وهو عداد تناسبي، جداره مكوَّن من البورون الذي يتفاعل مع النترونات لينتج جسيمات ألفا التي تدخل إلى داخل العداد التناسبي؛ ليتم كشفها، ويبين الشكل (12) مخطط هذا العداد.

3ــ حجرة التأين المعوضة: تتألف من حجرتين منفصلتين: الأولى مبطّنة بالبورون، والثانية عداد غازي غير مبطّن به. تعد الحجرة الأولى النترونات وأشعة غاما، أما الثانية فتَعد أشعة غاما فقط، وبطرح العد بدارة مناسبة يمكن عد النترونات فقط

إبراهيم عثمان

الموضوعات ذات الصلة:

الإشعاعات ــ الإشعاع النووي الناشط ــ الأشعة الكونية ــ التكثف ــ الحجرات والعدادات النووية.

مراجع للاستزادة:

- **H.SEMAT, Introduction to Atomic and Nuclear Physics (Holt, Rinehart and Winston; 5th edition 1972).**

- **T.A.GIRARD, Super conductivity and Particle Detection (World Scientific Publishing Co 1995).**