1-1 مقدمة: - Introduction

النيوترونات هي جسيمات متعادلة الشحنة ، فهي لا تتأثر بالمجالات الكهربية أو المغنطيسية ، وكتلتها تساوي تقريباً كتلة البروتون، وتوجد في انويه الذرات ، كما يمكن انه توجد خارجها حيث يدعى بالنيوترون الحر. النيوترون الحر غير مستقر له متوسط عمر قدره حوالي 886 ثانيه حوالي 15 دقيقة ، ويتحلل بعد هذه الفترة القصيرة إلى بروتون وإلكترون . كون النيوترونات غير مشحونة يجعل من الصعب كشفها أو التحكم بها ، الأمر الذي أدى لتأخر اكتشافها .عموماً فانه لا توجد في الطبيعة أي نظائر مشعه للنيوترونات ، ولكن يمكن إنتاج نظير اصطناعي يستخدم كمصدر للنيوترونات وهو نظير الكاليفورنيوم252 الذي يصدر الميكروجرام الواحد منه حوالي 2 مليون نيوترون في الثانية . وتتراوح طاقة النيوترونات المنطلقة من هذا النظير بين حوالي 0.1 – 7 م. أ. ف . {1}

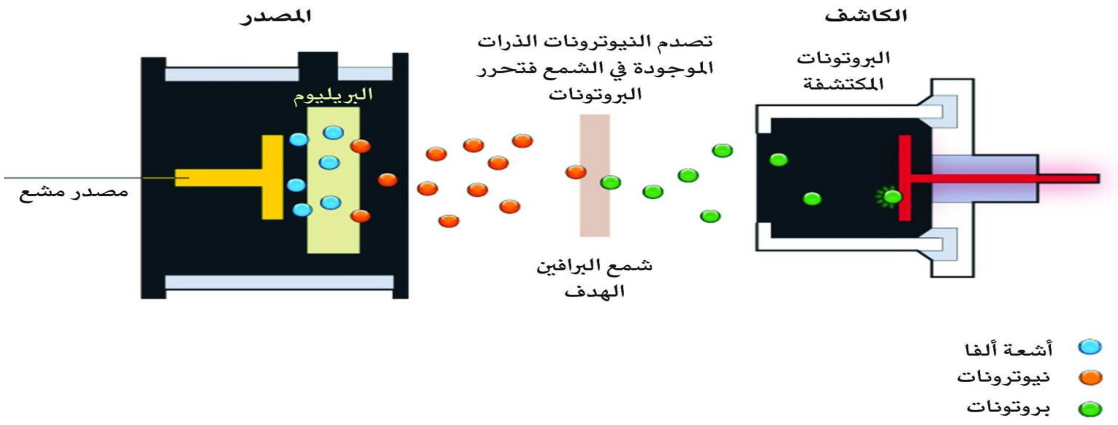
2-1 النيوترون (Neutron)

هو جسيم تحت ذري كان يظن في بادئ الأمر أنه جسيم أولي (لا يتكون من جسيمات أصغر) ولكن تبين فيما بعد خطأ هذا الاعتقاد . فقد اكتشفه عالم الفيزياء "جيمس شادويك" . والنيوترون مثل البروتون له دوران مغزلي حول نفسه ، ولهذا فهو يتأثر بالمجال المغناطيسي . كما أن النيوترونات الحرة (الإشعاعات النيوترونية) لها قدره عالية على النفاذ في المواد. الطريقة الوحيدة لتغيير مسار النيوترون هي وضع نواة في مساره ، حيث يتم تصادم تام المرونة . لكن احتمال اصطدام نيوترون حر متحرك بنواة إحدى الذرات في المادة ضعيف جداً بسبب الفرق الهائل بين حجم النيوترون والنواة ، علماً بأن نواة الذرة أصغر كثيرا جدا من حجم الذرة (أي أن الذرةتحوي فراغاً كبيراً) ، مما يعطي النيوترونات قدرة كبيرة عاليه الاختراق . تستخدم النيوترونات في شطر أنويه اليورانيوم في المفاعلات النووية . وينتج عند انشطار نواة اليورانيوم نيوترونين في المتوسط ، تتفاعل هي الأخرى مع نواة يورانيوم أخرى ، بهذا تتزايد النيوترونات وكذلك معدل الانشطار يزداد بما يسمى التفاعل المتسلسل . وفي المفاعل النووي توجد مواد لامتصاص النيوترونات الزائدة بحيث يبقى التفاعلمتوازناً ، ونستطيع بذلك إنتاج الطاقة عن طريق المفاعلات الذرية أو النووية . وهي تستخدم

أحيانا لتعقيم البذور الزراعية.{2}

3-1 اكتشاف النيوترونات:- The discovery of neutrons

لاحظ بروت انه عند قياسه لأوزان الذرات فإن أوزانها مضاعفات لوزن ذرة الهيدروجين . فاقترح إن الذرات تتكون من ذرات الهيدروجين ، ولكن عندما طرح رزرفورد فكرة وجود النواة قام العلماء بتعديل فكرة بروت إلي أن انويه الذرات هي التي تتكون من مضاعفات نواة الهيدروجين ، التي أسموها فيما بعد بالبروتون نسبة إلي بروت وان شحنة هذا البروتون تساوي شحنة الإلكترون ولكنها موجبة أي إن في النواة عدد من الشحنات الموجبة تتوزع في كثافة النواة . هذا يتناقض مع تجارب قايقر ومارسن التي أثبتت إن الشحنة الموجبة تتركز في نصف كثافة النواة فأصبح الأمر محيراً فافترض احدهم أن الالكترونات موجودة في النواة مع البروتونات لكن هل يمكن أن يكون الإلكترون موجود داخل النواة ؟ إذا حسبنا طول موجة الالكترونات وجد إنها اكبر من طول نصف قطر النواة ، فطول موجة الإلكترون اكبر بمائة مرة من نصف قطر النواة . [2]



الشكل (1-1) يوضح تخطيط للأجهزة المستخدمة من قبل Chadwick لإثبات وجود النيوترون

4-1 العزوم المغناطيسية للنيوترونات:-

Le moment magnetique du Neutron

أن صورة جزئية مشحونة ذات بعد معين حول محور تسمح بالتفسير بصورة كيفية وبتحليل كلاسيكي لوجود العزم المغناطيسي للنيوترون لا يمكننا أن نفهم وجود العزم المغناطيسي للنيوترون في الصورة الكلاسيكية إلى إذا تخيلنا الشحنة المعدومة الحاصل بالتعويض لتوزيع الشحن الموجبة

والسالبة . تفسير بعض نتائج التفاعلات النووية إلي القبول بان النيوترون يملك عزم مركب σ_n موصوف بالعدد الكمي ½ .لم يكن ممكناً تحقيق تجربة مشابهة لتجربة Gerlack , stern لتحديد العزم المغناطيسي النووي للنيوترونات ، وهذا النوع من التجارب يتطلب حزمة من الجزيئات مع كثافة نيوترونية كافية . والطرق المستخدمة هي التي تضع الدوران المخروطي ل -Lamar. الفكرة الرئيسية ((Bloch 1936)) متعلقة بإمكانية الحصول على حزمة من النيوترونات المستقطبة جزيئا وذلك باستخدام الانتشار بوسط ممغنط . تدخل آلية الانتشار للنيوترون تأثير متبادل بين العزم المغناطيسي لذرات الجسم الناثر إذا كان الجسم الناثر هو مادة ذات مغناطيسية حديدية ممغنطة حتى الإشباع . كل العزوم μ_A لها نفس الاتجاه وعدد النيوترونات المنتشرة ستعتمد على الزاوية بين العزم μ_n للنيوترونات الساقطة واتجاه المغنطة (aimantation). النيوترونات (الغير منتشرة) لها توزيع غير متماثل (isotope) وعزمها μ_n ويقال بان الحزمة الضعيفة ذات استقطاب جزيئي . {1}

5-1 مما تتكون الذرة :-

في داخل كل ذرة ثلاثة أنواع من الجسيمات هي على النحو التالي

- البروتونات Protons
- النيوترونات Neutrons
- الإلكترونات Electrons

البروتونات والنيوترونات تربطهما قوة تسمى القوة النووية وتكونان معاً نواة الذرة ، في حين

الالكترونات تحيط بالنواة وتدور حولها في مدارات محددة تسمى مستويات الطاقة للإلكترون.

الالكترونات والبروتونات تمتلكان شحنة كهربية متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة ، بمعنى

أن شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة وكل منهما متساويتين في المقدار ، ولهذا السبب

تنشئ بين البروتون في النواة تجاذب مع الإلكترون حول النواة وتسمى هذه بقوة تجاذب كولوم كولوم الكهربائية . وفي اغلب الأحيانتكون عدد البروتونات مساوياً لعدد الإلكترونات ، وهذا يجعل

6-1 شحنة النيوترونات: - Neutrons Charge

تعتبر شحنة النيوترونات متعادلة كهربياً، تعمل النيوترونات على ربط البروتونات مع بعضها البعض في نواة الذرة حيث تكون كل البروتونات مجتمعة في النواة وشحنتها الموجبة تعمل على تنافرها عن بعضها البعض لذا فان النيوترونات تؤثر على البروتونات بقوة ربط نووي اكبر من قوة التنافر بينهما مما تحافظ على تماسك الذرة واستقرارها.يجب أن تعلم إن عدد البروتونات في النواة يحدد سلوك الذرة فمثلاً إذا كان في النواة 13 بروتون فهذا يعني وجود 13 إلكترون حول النواة (لان عدد البروتونات يساوي عدد الالكترونات ولذلك الذرة تكون متعادلة كهربيا و إذا اختلف عدد البروتونات عن عدد الالكترونات تصبح الذرة إما ايون موجب أو ايون سالب . نجد أن النواة المكونة من 13 بروتون هذه تعتبر نواة ذرة الألمونيوم . عند تجميع ملايين ذرات كثير من الصناعات وهذا الألمونيوم يعرف في الطبيعة ألمونيوم 27.لاحظ انه في نواة الألمونيوم 13بروتون و14 نيوترون 27=13+14 ويسمى بالعدد الكتلي (atomic mass number) ولذلك كل نواة لها عدد كتلي مختلف عبارة عن حاصل جمع مكونات النواة من بروتونات ونيوترونات ، تعتبر ذرة الألمونيوم ذره مستقره أي عند وضع ذرة الألمونيوم في زجاجة مغلقه لملايين السنين فإنها ستبقى ذرة ألمونيوم ومكونه من 13 بروتون و13 إلكترون و14 نيوترون وهذا ما يسمى بالذرة المستقرة stable atom. {4}

7-1 خصـــــائص النيوترون:-

The characteristics of the neutron

1- دلت تجارب التشتت وتجارب أخرى في ميادين مختلفة أن كتلة النيوترون أكبر من كتلة البروتون إذ تقدر ب 1.008667 وحدة كتلة ذرية. وهذه الكتلة تعادل طاقة قدرها 939.55 مليون إلكترون فولت.
2- يمكن للنيوترون (الحر) أن يتحلل منتجا بروتون وجسيمات بيتا السالبة و ضديد النيوترينو . وقد دلت التجارب على أن عمر النصف للنيوترون تقدر ب 12 دقيقة .هناك تقنية معروفة لتقدير عمر النصف للنيوترون تتم من خلال توجيه شعاع نيوتروني ينطلق من مفاعل نووي

نحو حيز مفرغ من الهواء حيث تتحلل بعض الجسيمات ومن ثم يمكن الكشف عن نواتج التفاعل (جسيمات بيتا) ومن ثم تقدير نصف العمر للنيوترون.

8-1 تصنيف النيوترونات حسب طاقتها إلى :-

Classified according to their energy neutrons that

1- نيوترونات حرارية .

عندما تخترق النيوترونات مادة ما فإنها تأخذ بالتصادم مع أنويه المادة حيث ينتج عن ذلك فقد في الطاقة ، وباستمرار التصادم يستمر فقد الطاقة حتى تصل هذه النيوترونات إلى اتزان حراري مع جزيئات المادة ، فإذا كانت درجة حرارة المادة هي درجة حرارة الغرفة فإن هذه النيوترونات تسمى بالنيوترونات الحرارية . وستتبع طاقتها توزيع ماكسويل

$$E = K\,T$$

حيث K ثابت بولتزمان = 8.61×10^{11} Mev / K

T = درجة حرارة الغرفة على افتراض أنها $=27^{0}$

وعندها وجد أن طاقة النيوترونات في هذه الحالة = 0.025 إلكترون فولت.

2- نيوترونات فوق حرارية تقدر طاقتها ب واحد إلكترون فولت.

3- نيوترونات الكادميوم تزداد طاقتها عن واحد إلكترون فولت وسر التسمية يكمن في أن الكادميوم يتميز بمعدل امتصاص عال للنيوترونات ذات الطاقات الأقل من 0.4إلكترون فولت. بينما ينخفض هذا المعدل كثيرا عندما تفوق طاقات النيوترونات واحد إلكترون فولت . ومن ثم يعتبر الكادميوم منفذ النيوترونات الأخيرة ولذلك تعرف هذه النيوترونات ب (نيوترونات الكادميوم)

4- نيوترونات بطيئة تتراوح طاقتها من (0.03 _ 100كيلو) إلكترون فولت .

5_ نيوترونات متوسطة تتراوح طاقتها (100 _ 10 كيلو) إلكترون فولت .

6- نيوترونات سريعة تتراوح طاقتها (10 كيلو _ 10 ميقا) إلكترون فولت .

7- نيوترونات الطاقة العالية وطاقتها أكبر من 10 ميقا أو مليون إلكترون فولت .

1-9 تقنية لقياس طاقة النيوترون:

Technique to measure the neutron energy

تختلف التقنية حسب الطاقة التي يمتلكها النيوترون ففي :

أ- حدود ميقا إلكترون فولت : نستخدم تقنية زمن الطيران حيث يترك النيوترون ليطير بين نقطتين تفصلهما مسافة وبتعيين زمن الطيران يمكن تقدير سرعة ومن ثم طاقة النيوترون .

ب- الطاقة في حدود الإلكترون فولت : نستخدم تقنية حيود النيوترون وقانون براغ وعليه أمكن بناء مطياف بلوري لقياس طاقة النيوترونات الحرارية.

1-10 أهم مصادر النيوترونات:

The most important sources of neutrons

يمكن الحصول على النيوترونات الحرة عن طريق التفاعلات النووية وتنطلق النيوترونات بطاقة تعتمد على :

أ- قيمة طاقة التفاعل .

ب- الاتزان الطاقوي بين نواتج التفاعل .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن النيوترون المنطلق بطاقة معينة لا سبيل لتعجيله ولكن يمكن أن تتناقص هذه الطاقة عندما تتصادم النيوترونات مع المادة . ويمكن تقسيم مصادر النيوترونات إلى .
1/مصادر ينتج عنها فيض منخفض من النيوترونات وغالبا ما تعرف بمصادر (ألفا ، نيوترون) وتنتج عند قذف مادة مناسبة بجسيمات ألفا.

2- مصادر ينتج عنها فيض عال من النيوترونات حيث يستخدم لذلك المفاعلات النووية أو المعجلات و يتم قذف مواد ذات عدد ذري منخفض بالأيونات الموجبة المعجلة بواسطة معجلات مناسبة .

3- مصادر ينتج عنها نيوترونات بطاقات متماثلة تعرف هذه المصادر بالضوء نووية ففيها يتم تفاعل فوتون جاما المتماثلة مع مادة ما مع ملاحظة :

أ- أن تكون طاقة الترابط النووي لمادة الهدف صغيرة (كما في حالة البريليوم إذ تساوي 1.66 م أ ف ، أو الديوترون 2.22 م أ ف)

ب- أن تكون طاقة أشعة جاما أكبر من طاقة الترابط النووي لمادة الهدف .

11-1 أسر النيوترون: The Neutron Capture

عندما يقترب النيوترون الحراري أو ألبطيء بشدة من سطح نواة نظير ما يمكن أن تأسر هذه النواة النيوترون مكونة بذلك نظير أخر، ويطلق في ذات اللحظة فوتون فوري ومن الأمثلة على ذلك تفاعل الأسر النيوتروني على الكادميوم (114) حيث يتكون نظير الكادميوم (115) وينطلق الفوتون وفقاً للتفاعل: {1}

$$^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{114}_{47}\mathrm{cd} \longrightarrow {}^{115}_{47}\mathrm{cd} + \nu \longrightarrow \quad (1\text{-}1)$$

12-1 انتقال الطاقة من النيوترونات لجسم الإنسان:

The transfer of energy from the neutrons to the human body

النيوترونات السريعة يمكن أن تنقل كامل طاقتها إلي جسم الإنسان من خلال التصادمات المرنة مع نوى الهيدروجين فطاقة النيوترون السريعة تنتقل بالكامل بعد حوالي 18 تصادماً إلى نوى ذرات الهيدروجين (أي إلى البروتونات) لذا يعتبر المكون الرئيسي والسائد في جسم الإنسان ، حيث يحتوي كل كيلوجرام واحد من جسم الإنسان على حوالي 6×10^{25} ذرة هيدروجين وعندما تكسب البروتونات طاقات النيوترونات تقوم هذه البروتونات المشحونة بتأين ذرات أو جزيئات خلايا الجسم البشري لذلك نجد أن النيوترونات تنتمي للإشعاعات المؤينه رغم أنها تحدث تأين بطريقة غير مباشرة وعندما تصبح النيوترونات حرارية بفعل التهدئة ، ويلعب تفاعل الأسر النيوتروني للنيوترونات الحرارية والبطيئة في نوى بعض الذرات متوسطة الكتلة الموجودة في جسم الإنسان (كالبوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم وغيرها) الدور الوحيد للانتقال الطاقة لجسم الإنسان وانطلاقا

فوتونات جاما الفورية ، لحظة الأسر، وربما تتكون بعض النويدات التي تسهم إسهاماً محدداً في إبداع الجرعة الإشعاعية في جسم الإنسان.{1}

13-1 التحليل بالتنشيط النيوتروني Neutron activation analysis

عند قذف انويه عنصر غير مشع بالنيوترونات يجعلها تقتنص بعض هذه النيوترونات وتتحول إلى انويه نظائر مشعه لنفس العنصر ، وبعدها تتحلل هذه النظائر المشعة تحللا إشعاعيا عن طريق قياس النشاط الإشعاعي للنظائر التي تكونت . ويمكن تحديد تركيز العنصر الأصلي في المادة المشعة ، وعلى هذا الأساس ترتكز طريقه للتحليل تسمى التحليل بالتنشيط النيوترون (Neutron Activation Analysis) وهي طريقه دقيقه جدا و يمكن تعين بها تركيزات ضئيلة جدا تصل إلى أجزاء في البليون ويمكن استخدامها في اكتشاف التلوث البيئي ببعض العناصر ذات التركيز المنخفض جدا أو في التحاليل الطبية أو في البحث الجنائي بتحليل عينات من الشعر أو الأظافر أو مجالات التحليل بصفه عامه . ويجري تشعيع العينات المراد تحليلها بوضعها في خلايا خاصة داخل احد المفاعلات النووية ، حيث تتعرض للأشعة النيوترونية أو استعمال مصدر نيوتروني لهذا الغرض.{6}

1-2 المقدمة: introduction

يمثل تفاعل النيوترونات مع الانويه المختلفة هو احد التفاعلات النووية الشاملة والمتنوعة يعتبر إن النيوترون من المكونات الرئيسية لجميع الانويه (فيما عدا نواة ذرة الهيدروجين) ويتم التفاعل بين النيوترونات و الانويه عبر الطاقات المنخفضة، نظراً لان النيوترون متعادل الشحنة ويمكن أن يخترق حاجز الجهد بسهولة مهما كانت طاقته منخفضة . {7}

2-2 تفاعلات الأسر: Interactions captivity

حيث تقوم النواة بأسر النيوترون الساقط عليها وامتصاص كل طاقته فتصبح لأجل ذلك في حالة إثارة. و نجد أن مثل هذه التفاعلات تتمتع باحتمال تفاعل كبير ومن ثم يمكن استخدامها للكشف عن النيوترونات بكفاءة.

3-2 أهم تفاعلات النيوترون مع المادة:

The most important neutron interactions with the material:-

1-3-2 التصادم المرن:-Collision flex

في هذه الحالة يسقط النيوترون على النواة بحيث يعطيها جزءا من طاقته ويتشتت هو بطاقة أقل من طاقته الابتدائية بينما ترتد النواة بطاقة تساوي تلك المنتقلة إليها بالتصادم ويسمى هذا التصادم بالمرن لأن الطاقة وكمية الحركة محفوظتين قبل وبعد التصادم. قد يتم التصادم المرن بصورتين أ-قد يحدث امتصاص أولا للنيوترون بواسطة النواة ألمقذوفه ويتم تكوين ما يعرف بالنواة المركبة التي تقوم بإطلاق نيوترون آخر بعد ذلك وهو النيوترون المتشتت .

ب_ قد يحدث التفاعل مباشرة دون المرور بمرحلة النواة المركبة حيث يتشتت النيوترون مباشرة عن النواة.

2-3-2 التصادم اللامرن : Collision Allammern

وفيه لا تكون طاقة الحركة محفوظة إذ أنه عند سقوط النيوترون على النواة فإنه يعطيها جزءا من طاقته يستخدم لإثارتها أولا ثم تمتص جزءا آخر لتنطلق به بطاقة حركة معينة

4-2 الأنواع المختلفة للتفاعلات النووية المستحدثة بالنيوترونات:

Kind different for nucleus reaction with neutrons

1-4-2 الأسر الإشعاعي للنيوترونات:Radiation Capture of Neutrons

في هذا النوع من التفاعل يتم اسر النيوترون بواسطة نواة الهدف ويتيح ذلك انبعاث فوتونات ويمثل هذا التفاعل بالمعادلة التالية:

$$^{A}_{Z}X + n \rightarrow {}^{A+1}_{z}X + \boldsymbol{\gamma} _____ (\mathbf{1-2})$$

وعادة تكون النواة الناتجة من التفاعل غير مستقرة وتتحول إلي حالة الاستقرار وذلك بانبعاث جسيمات $\bar{\beta}$

$$^{A+1}_{Z}X \rightarrow {}^{A+1}_{Z+1}y + \bar{\beta} + \bar{\nu}_e _____ (2-2)$$

واحتمالية حدوث الأسر الإشعاعي للنيوترونات تكون عالية بالنسبة للنيوترونات البطيئة التي تتراوح طاقتها مابين (0 و 500 kev) وتستخدم هذه التفاعلات في الكشف عن هذا النوع من النيوترونات.

ومثال لهذا التفاعل:

$$^{115}_{49}\mathrm{In} + \mathrm{n} \rightarrow {}^{116}_{49}\mathrm{In} + \gamma _____ (3-2)$$

ويضمحل النظير المشع $^{116}_{49}\mathrm{In}$ (إنديوم) وذلك بالتفكك البيتاوي بزمن نصف عمر $T_{½} = 54\ min$

$$^{116}_{49}In \rightarrow {}^{116}_{50}\mathrm{Sn} + \grave{\beta} + \acute{\nu}_{\mathrm{e}} _____ (4-2)$$

2-4-2 التفاعلات التي ينتج عنها انبعاث البروتونات:

Production Radiation of protons emission

تتم التفاعلات من هذا النوع (n , p) وذلك عندما تتراوح طاقة النيوترونات مابين 0.5 , 10 Mev

$$^{A}_{Z}X + n \rightarrow {}_{z-1}{}^{A}y + p _____ (5-2)$$

وفي هذه المعادلة تكون Q أكبر من الصفر (لان كتلة النيوترونات M_n اكبر من كتلة البروتونات M_p). أما إذا كانت Q<0 لابد أن تكون طاقة البروتونات عالية حتى تستطيع هذه البروتونات التغلب على الجهد الكولومي لنواة الهدف. مثال التفاعل

$$^{32}_{16}S + n \longrightarrow {}^{32}_{15}P + p \quad Q = -0.92\ mev \qquad (6-2)$$

$$^{14}_{4}N + n \longrightarrow {}^{14}_{6}C + p \quad Q \cong 0.6\ mev \qquad (7-2)$$

حيث أن Q موجبة في التفاعل (2-7) فان هذا التفاعل يتم بواسطة النيوترونات الحرارية، ويستخدم هذا التفاعل في الكشف عن هذا النوع من النيوترونات باستخدام المستحلبات الفوغرافية النووية حيث يمكننا ملاحظة البروتونات الناتجة من التفاعل بمدى يساوي عدة ميكرونات أما بالنسبة للتفاعل (6-2) فقد استخدم في الكشف عن النيوترونات المنبعثة نتيجة للانشطار النووي لبعض الانويه الثقيلة (النيوترونات السريعة).{7}

2-4-3 التفاعلات التي تنتج عنها انبعاث جسيمات الفا:

Interactions that result in the emission of alpha particles

يمثل هذا النوع من التفاعلات بالمعادلة التالية:

$$^{A}_{Z}X + n ----- {}^{A-4}_{z-2}P + {}^{4}_{2}He \qquad (8-2)$$

ولحدوث هذا النوع من التفاعل يجب أن تتراوح طاقة النيوترونات مابين 0.5 و 10 Mev وفي بعض الحالات يكون حاجز الجهد لبعض الانويه منخفضاً ولذلك يتم هذا النوع من التفاعل في هذه الحالات باستخدام النيوترونات الحرارية وفيما يلي بعض الأمثلة لهذا النوع من التفاعل:

$$^{6}_{3}Li + n --- {}^{3}_{1}He + {}^{4}_{2}He \qquad Q = 4.5\ Me \qquad (9-2)$$

$$^{10}_{5}B + n --- {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He \qquad Q = 2.4\ Mev \qquad (10-2)$$

ويستخدم هذان التفاعلان في الكشف عن النيوترونات الحرارية وذلك باستخدام غرف التأين التي تحتوي على غشاء من الليثيوم، المقطع المستعرض للتفاعلين على التوالي 10^{-24} x 4000 cm^2 10^{-}

900 x $900)^{24}$ ،4000) بارن) وكمثال للتفاعل (n ، α) الماص للطاقة (أي القيمة Q للتفاعل تكون سالبة) هو:

$$^{14}_{7}N + n - - - - \ ^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He \quad Q = -0.28\ Mev _____ (11-2)$$

4-4-2 التفاعلات الانشطارية (الانفلاق النووي)): Fission reactions

عند قذف الانويه الثقيلة (U_{99} , Th_{80} , pa_{91}) والعناصر الانتقالية بالنيوترونات ذات الطاقة Mev T_n >1 فان هذه الانويه تنشطر إلي نواتين وتكون النسبة بين متوسط كتل النواتين هي 3=2 أي أن

$$^{A}_{Z}X + n - - - - - \ ^{A_1}_{Z_1}Y' + \ ^{A_2}_{Z_2}Y'' _____ (12-2)$$

حيث :

$$A_1 + A_2 = A+1 \ , \ Z_1 + Z_2 = Z \ , \ A_1' = A_2' \cong 2 = 3$$

ويستخدم هذا النوع من التفاعلات في الحصول على الطاقة النووية. {7}

5-4-2 التفاعلات التي تؤدي إلى إنتاج نيوكليونين أو أكثر:-

Interactions that lead to the production Nucleon or more

إذا كانت طاقة النيوترون T_n >10 Mev فيمكن أن تحدث تفاعلات من النوع (n , n) و (n , n_p) و (n,2n) وتستخدم هذه التفاعلات على بعض الأمثلة لمثل هذه التفاعلات:

$$^{12}_{6}C + n - - - - \ ^{11}_{6}c + 2n _____ (13-2)$$

$$^{63}_{29}Cu + n - - - - \ ^{62}_{29}Cu + 2n _____ (14-2)$$

والطاقة الابتدائية اللازمة لحدوث هذين التفاعلين هي 20 Mev و10 Mev على التوالي. وترجع الزيادة في الطاقة الابتدائية للتفاعلات من النوع (n,2n) إلي أن طاقة فصل نيوترونين في النواة اكبر من فصل نيوترون واحد .وهنالك تفاعل من النوع (n,2n) تقل فيه الطاقة الابتدائية إلي 2Mev وفيما يلي مثال لهذا التفاعل:

$$^{9}_{4}Be + n - - - - - -2^{4}_{2}He + 2n _____ (15-2)$$

6-4-2 التبعثر غير المرن للنيوترونات: Cluttering inelastic neutron

عند قذف نواة نيوترون ذات طاقة تساوي قليلاً من مئات الكيلو إلكترون فولت فان هذا النيوترون يسبب إثارة لهذه النواة ثم يتركها ونتيجة لذلك تقل طاقته (ليس من الضروري أن يخرج نفس النيوترون الذي دخل النواة) ويسمى هذا التفاعل بالتبعثر غير المرن للنيوترونات. {7}

7-4-2 التبعثر المرن للنيوترونات : Cluttering the flex of the neutrons

في هذا النوع من التفاعل تظل نواة الهدف في نفس مستوى الطاقة التي كانت عليه قبل التفاعل، ويظل النيوترون محتفظاً بطاقة الحركة الابتدائية في مركز الثقل (تكون طاقة الحركة الكلية للنيوترون ثابتة في النظام المعملي). ويستخدم التبعثر المرن للنيوترون في الكشف عن النيوترونات السريعة وذلك بملاحظة اثر النواة المرتدة (غالباً البروتونات المرتدة) باستخدام الغرفة السحابية ، الغرفة الفقاعية والمستحلبات النوويةويلعب التبعثر المرن دوراً هاماً في عملية تهدئة النيوترونات السريعة في المفاعلات النووية.{7 }

5-2 نظرية بوهر للتفاعلات النووية الحادثة بواسطة النيوترونات:

Bohr's theory of nuclear reactions by neutrons incident:

إن وجود المستويات قليلة الإتساع ($\Gamma \cong 0.1\ ev$) في النواة عند طاقة اثارة تفوق طاقة الترابط للنيوكليون داخل النواة وطبقاً لميكانيكا الكم فان:

$$\Delta\ E.\Delta t\ \cong\ \hbar _____ (16-2)$$

حيث $\hbar = 6.6\ x\ 10^{-16}\ ev$ وبتطبيق هذه المعادلة فان صغر اتساع مستوى الطاقة يشير الي زيادة زمن العمر للنواة في هذا المستوى اي ان:

$$t = \frac{\hbar}{\Gamma} = 6.6\ x \frac{10^{-16}}{0.1} \cong\ 10^{-14}\,\text{sec} _____ (17-2)$$

وهذا الزمن يكون أطول من الزمن الذي يقطعه النيوترون لكي يعبر النواة (Δt).

$$\Delta t = \frac{R_{nuc}}{v_n} \cong \frac{10^{-12}}{10^{9}} \cong 10^{-21}\,\text{sec} _____ (18-2)$$

وهذا يناظر اتساع مستوى الطاقة

$$[\Gamma = \hbar/\Delta t = 6.6\,x\,10^{-16}/10^{-21}]\Gamma \cong 1\,Mev$$

وقد أمكن تفسير هذا الاختلاف بجانب تفسير زيادة المقطع المستعرض للتفاعل النيوترونات مع الانوية وكذلك ارتفاع كثافة المستويات بواسطة العالم بوهر الذي فرض نظرية التفاعلات النووية التي تعتمد على نموذج قطرة السائل للنواة طبقاً لنظرية بوهر فان التفاعل النووي يتم على مرحلتين **المرحلة الأولى:** يؤسر النيوترون بواسطة النواة ويتكون ما يسمى بالنواة المركبة ذات طاقة الإثارة حيث:

$$w = \varepsilon_n + AT_n/(A+1) _____ (19-2)$$

والتي تتميز بقيم محددة كمية التحرك الزاوية والتماثل. (T_n ،ε_n)هي طاقة الترابط وطاقة الحركة للنيوترون على التواليوطبقاً للتفاعلات القوية فان طاقة الإثارة هذه تتوزع بسرعة بين النيوكليونات الموجودة داخل النواة . ومن ثم و أي من هذه النيوكليونات لا يمكن ان يترك النواة إلا اذا اكتسب النيوكليون القريب من محيط النواة طاقة تزيد عن طاقة ترابطه داخل النواة ويمكن ان تضمحل النواة المركبة وذلك بانبعاث فوتونات γ. وهذه طريقة بطيئة، بعد مرور فترة طويلة t (زمن العمر للنواة المركبة) تبدأ **المرحلة الثانية** للتفاعل وهي اضمحلال النواة المركبة وذلك بخروج نيوكليون أو انبعاث فوتونات (أو أي طريقة أخرى) واحتمالية اضمحلال النواة المركبة هي w حيث:

$$w = L/t = \Gamma/\hbar _____ (20-2)$$

حيث إن النواة المركبة يمكن أن تضمحل بطرق مختلفة (انبعاث بروتون أو انبعاث نيوترون أو انبعاث فوتون جاما أو ....) فان احتمالية الاضمحلال w يمكن التعبير عنها بمجموع الاحتمالات الجزئية:

$$w = w_p + w_n + w_\gamma + \cdots = \Gamma\frac{p}{\hbar} + \Gamma\frac{\gamma}{\hbar} + _____ (21-2)$$

واحتمالية الاضمحلال النسبية للنواة المركبة لنوع ما من الاضمحلال تعطي بالعلاقة:

$$\eta_i = w_i/w = \Gamma_i/\Gamma _____(22-2)$$

حيث Γ_i هو الاتساع الجزئي $(\Gamma_\gamma\ \Gamma_n\ \Gamma_p$ أو ...) والاحتمالات النسبية لاضمحلال النواة المركبة لا تعتمد على الطريقة التي تكونت بها هذه النواة وقد تحقق هذا الاستنتاج عملياً من مقارنة الاضمحلالات المختلفة للانويه المركبة المتطابقة (لها نفس القيم لكل من p, T, I, E, Z, A) التي يمكن الحصول عليها من التفاعلات المختلفة.{7}

6-2 المقطع المستعرض لتفاعل النيوترونات مع الانويه :-

Cross-section of the interaction of neutrons with nuclei

ان وجود مرحلتين للتفاعل (تكون النواة المركبة ثم اضمحلال هذه النواة) يسمح لنا ان نحسب المقطع المستعرض للتفاعل باستخدام المعادلة الآتية :-

$$\sigma_i = \sigma^* \eta i _____(1-6-2)$$

حيث σ^* هو المقطع المستعرض لتكوين النواة المركبة ηi هي احتمالية اضمحلال هذه النواة خلال فترة معينة.{7}

7-2 حيود النيوترونات البطيئة بواسطة البلورات:

Slow neutron diffraction by crystals

يعطي الطول ألموجي الدوبروجلي λ للنيوترونات بالمعادلة الآتية :-

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{4.5\ x\ 10^{-10}}{\sqrt{T}}\ cm} _____(2-7-1)$$

حيث T هي طاقة النيوترونات بوحدات (ev) وبالنسبة للنيوترونات البطيئة التي تتراوح طاقتها مابين 0.01 – 100 ev فان الطول ألموجي يتراوح مابين 0.45×10^{-8} – 0.45×10^{-10} حيث ان:

$$\lambda = \frac{\lambda}{2\pi} _____(3-7-1)$$

$$\therefore \lambda = 2\pi\lambda _____(4-7-1)$$

إي أن λ سوف تتراوح مابين 3×10^{-8}cm – 3×10^{-10} إي أن λ سوف تتراوح مابين 3A – 0.036 وهذه القيم للطول ألموجيللنيوترونات البطيئة تكون مساوية تقريباً للمسافة التي تفصل بين المستويات في البلورات فمثلاً ثابت الشبكة في حالة فلوريد الليثيوم LiF يساوي A^0 2-32 ومن ثم فانه من المتوقع انه عند سقوط النيوترونات البطيئة أحادية الطاقة بزاوية صغيرة Θعلى المستوى البلوري فان هذه النيوترونات سوف تنعكس بزاوية مساوية لزاوية السقوط Θ ويربط كل من الزاوية Θ والطول الموجي (λ) وثابت الشبيكة البلورية d بالعلاقة المعروفة بعلاقة براج (Bragg relation) .{ 7}

$$2d\ sin\ \ominus = n\lambda = 2\pi n\ \lambda _____ (4-7-2)$$

حيث n رتبة الانعكاس

$$\lambda = \frac{h}{v} = \frac{h}{\sqrt{2mT}} \quad _____ (4\text{-}7\text{-}2)$$

بالتعويض عن قيمة λ من المعادلة (4-7-2) في المعادلة (5-7-2) نحصل على

$$T = \frac{n^2h^2}{8md^2sin^2\theta} \quad _____ (5\text{-}7\text{-}2)$$

أي أنه بقياس زاوية الإنعكاس يمكننا تعين طاقة النترونات المنعكسة .

3-ا المقدمة: Introduction

تظهر النيوترونات الحرة نتيجة للتفاعلات النووية وطاقة ربط النيوترونات في تركيب النوي وتقاس بالميجا إلكترون فولت، لذا فانبعاث النيوترونات بطاقة حركة غير كبيرة أمر ضئيل الاحتمال. ليس للنيوترونات شحنة كهربية كما إنها لا تشترك في التأثير المتبادل الكولومي لا مع الالكترونات الذرية ولا مع النوي. وكل ما تبعث عليه النيوترونات من عمليات يتحدد فقط عن طريق القوى النووية. تصادم النيوترونات مع النوي يحدث بشكل نادر بالقياس إلي التصادم الذي يحدث بين الجسيمات المشحونة وبين الذرات . نجد أن انضمام النيوترونات لأي‌نوي الذرات يحدث بشكل نادر نسبياً ، ويكون التصادم مصحوباً بتشتت قوة الجذب التي تؤثر على النترونات التي تنتمي إلي الإشعاع الذري. فإن النوي تمتص النيوترونات عادة خلال زمن اقل بكثير من الثانية. والامتصاص بواسطة النوي يكون مصحوب بجسيمات ثانوية ذات طاقة عالية كماتγ ، بروتونات$\aleph$ ، جسيمات α وفي عملية الانقسام تظهر نيوترونات. تصادم النيوترونات مع النوي دون تكون نوي مركبة عبارة عن عملية تصادم مرن إما إذا كانت النواة الناتجة من خلال النواة المركبة مستثارة فان التشتت يسمى تشتت غير مرن. {8}

2-3 تشتت النيوترونات السريعة:- Scattering of fast Neutrons

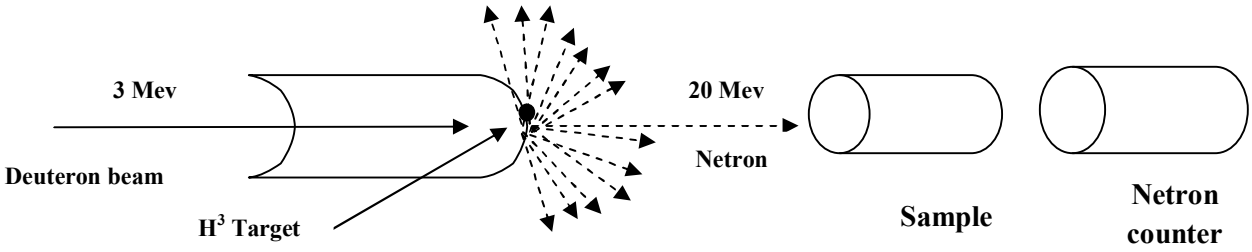
بالإضافة إلي تشتت جسيمات ألفا والالكترونات ذات الطاقة العالية، فان النيوترونات يمكن أن تستخدم لدراسة حجم النواة ولكون النيوترونات متعادلة كهربياً فإنها لا تستجيب لقوة كولوم، لذلك فان تشتت النيوترونات يعطينا معلومات مباشرة حول نصف قطر القوة النووية قصيرة المدى يحدد 1 Fermi، ولهذا فلابد من استخدام نيوترونات ذات طاقة كافية بحيث أن $\lambda \leq 1$ Fermi

$$= \frac{h}{p} = 4.55k^{\frac{-1}{2}} _____ (2-3)\lambda$$

حيث K الطاقة الحركية مقاسه بوحدة Mev

كيف يمكن استخدام النيوترونات لقياس نصف قطر النواة تقريباً ؟ الشكل أدناه يبين حزمة من الديترونات طاقتها 3Mev قادمة من معجل فاندي كراف تدخل من اليسار وتركز على هدف يحتوي

H^3 إن اصطدام النيوترونات بالهدف يستنتج نيوترونات في جميع الاتجاهات والتي تسير نحو العينة لها طاقة بحدود 20Mev يعكس الإخماد attenuation بنسبة عدد النيوترونات المسجلة بواسطة العداد بوجود العينة إلي عددها عند وجود العينة لتأخذ نظرية الاعتبار جزء من العينة سمكه dt على طول مسار النيوترونات A مساحة عمودية على حزمة النيوترونات. {3 }



الشكل(3-1) يوضح تخطيط للأجهزة المستخدمة في تجربة الإخماد النيوتروني {10}

لنفرض بان هذا الجزء يحتوي على n من النوى لوحدة الحجم – لنفرض كذلك بان N_0 تمثل عدد النيوترونات الساقطة على العينة في زمن معين (التي تمثل عدد النيوترونات في حالة عدم وجود العينة) وان N العدد المتبقي في مسار احتياطي في العينة عندئذ يمكننا كتابة العلاقة التالية

$$-\frac{dN}{N} = \frac{n\,A\,dt\,2\pi\,(R+\lambda)^2 dt}{A} = 2n\pi\,(R+\lambda)^2\,dt \;--(3-3)$$

بإجراء التكامل نحصل على

$$\int_{No}^{N} -\frac{dN}{N} = \int_{0}^{t} n2\pi\,(R+\lambda)^2 t _____ (4-3)$$

$$-ln\,N + Ln\,No = n2\pi\,(R+\lambda)^2 t \;\rightarrow\; \frac{No}{N}\,e^{2n\pi\,(R+\lambda)^2 t} \text{---(5-3)}$$

$$\therefore\; N = N_0 e^{-2\pi(R+\lambda)^2 t} _____ (6-3)$$

حيث N يمكن قياسها بالتجربة n وT خواص العينة λ = الطاقة الحركية للنيوترونات.

يعني أن حساب نصف‌قطر النواة سيكون مباشراً ويجدر الإشارة إلي أن مساحة مقطع العديد من النوي تكون برتبة 10^{-24} Cm^2 ولهذا فقد وجد العاملون في هذا المجال انه من المفيد تبين وحدة سميت البارن bar n حيث $1\ barn = 10^{-24}\ cm^2$

3-3 عاكس النيوترونات :- Neutron reflector

1-3-3 تأثير العاكس :- Effect of inverter

لا توجد في الواقع أي مفاعلات تحكم من عواكس نيوترونات ، فالقطاع النشط المستقر على قاعدة، له على الأقل عاكس من أسفل لان كل المواد تعكس النيوترونات ولكن من المفهوم أن فعالية عكس النيوترونات تكون أعلى كلما كانت المادة العاكسة اكبر وتواجد العواكس بالقرب من الجسم الذي تنتشر فيه النيوترونات المتولدة من منابع ما يؤدي إلي انخفاض تسرب النيوترونات فجزء النيوترونات الذي كان يغادر حيز الجسم عند بلوغه سطحه أثناء الانتشار يرتد إلي الوراء لان النيوترونات في مادة العاكس تشترك أيضا في الانتشار الفوضوي والنيوترونات المنعكسة من جديد عن الحجم الأول وهكذا. وهذا يكون مصحوباً بتزايد التدفق النيوتروني على حدود الجسم مع العاكس. ويعني تزايد التدفق في الحدود بالنسبة لتدفق داخل الجسم انخفاض تدرج التدفق على الحدود، أو انخفاض تيار الانتشار الذي يساوي التسرب النيوتروني خلال وحدة المساحة من سطح الجسم في وحدة الزمن.

2-3-3 توفير القطاع النشط :-: Providing active sector

تحدد الأبعاد الحرجة للمفاعلات الخالية من العواكس فإذا قيس البعد الحرج من مركز القطاع النشط بالرمز R_0 وفي حالة المفاعل ذي العكس بالرمز R فان $R_0 > R$ أما الفرق

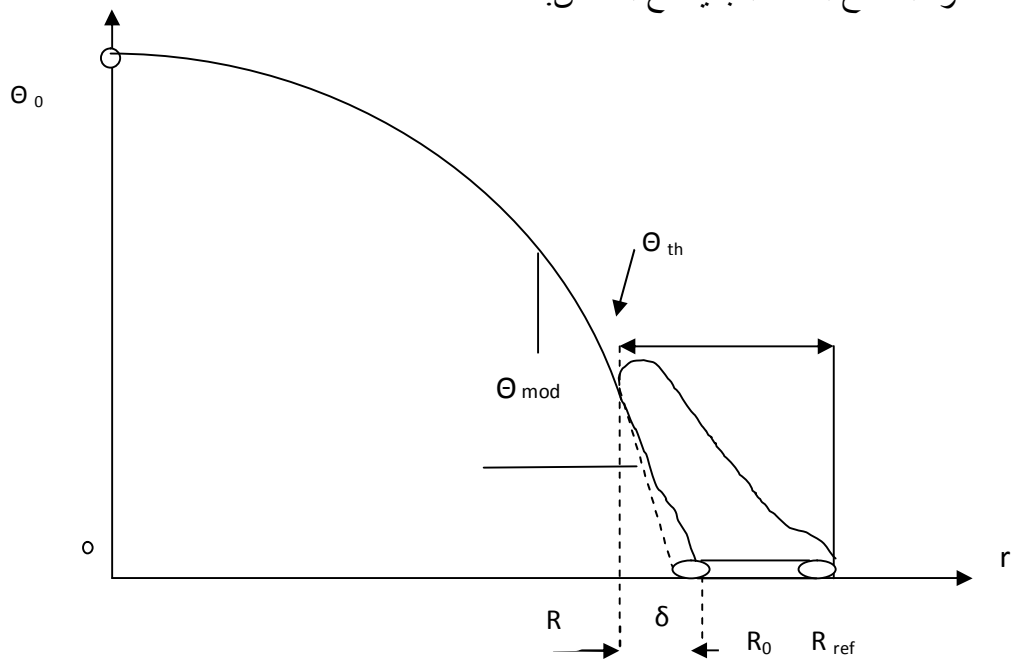
$$\sigma = R_0 - R _____ (1)$$

ويجب تسمية في هذه الحالة بتوفير القطاع النشط (عادة تسمى الكمية σ توفير العاكس او الاضافة الفعالة) وحقيقة حجم القطاع النشط الخالي من العاكس بمقدار حجم طبقة خارجة سمكها σ. والعاكس يقع مباشرة وراء حدود القطاع النشط بحيث ان جزءاً من حيز القطاع النشط للمفاعل الخالي من العاكس تستبدل بمادة العاكس.{1}

4-3 التوزيعات النيوترونية في المفاعل ذي العاكس:

Distributions in the reactor with neutron reflector

ينعدم التدفق النيوتروني ذي العاكس عند حدود العاكس مع الفراغ حيث في$r = R_{ref}$ الشكل أدناه Q_{mod} , Θ_{th} لهما تدفق النيوترونات الحرارية والمبطئة على الترتيب وقد مثل التوزيع الفراغي لكل من التدفقيين بالنسبة لقيمة التدفق عند المركز Θ ، أما الخط المنقطع فيبين التدفق في المفاعل الخالي من العاكس والذي ينعدم عند الحدود السابقة مع الفراغ حيث $r = R_0$ ويرمز لبعد العاكس بالرمز Δ أما السمك σ للطبعة التي حل العاكس مكانها فينحدر عن طريق تدفق النيوترونات الذي تنشأ على حدود القطاع النشط الجديد مع العاكس.



الشكل يوضح توزيع تدفق النيوترونات في المفاعل ذي العاكس{1}

4-3 تعيين الأبعاد الحرجة:- Designation of critical dimensions

في وجود خصائص معينة لمواد القطاع النشط والعاكس وعند قيمة مثبتة سمك العاكس Δ الذي تعتمد عليه كفاءة عكس النيوترونات تكون للمفاعلات أبعاد حرجة معينة.

5-3 تسوية التدفق النيوتروني:-

The settlement of the neutron flow:-

في المفاعل الخالي من العاكس ينعدم التدفق النيوتروني على حدود القطاع النشط. وتسمى نسبة التدفق الأقصى في المركز إلى التدفق المتوسط على كل القطاع النشط معامل عدم الانتظام (X ، XI). وان سرعة الانقسام وانفلات الطاقة تتناسب مع تدفق النيوترونات الحرارية ، فان القدرة المستخلصة من القطاع النشط للمفاعل اقل بمقدارx من المرات من القدرة القصوى الممكنة والتي يمكن الوصول إليها في الحالة الحدية عندما يكون التدفق النيوتروني ثابتا في كل حيز من القطاع النشط .

1-4 المقدمة :- Introduction

تعود قصة الانشطار النووي إلى العام 1939م عندما اكتشف هان وستر اسمان إمكانية الحصول على الباريوم عند قذف اليورانيوم بالنيوترونات ، ولوحظ فيما بعد انه عند قذف نواة يورانيوم بالنيوترونات فإنها تنقسم إلى نواتين زواتا كتلتين متوسطتين ، مثل الباريوم Z=56 و الكربتون 36 وبالتالي فان التفاعل النووي الذي تنقسم فيه نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتين زواتا كتلتين متقاربتين يعرف بالانشطار النووي (Nuclear Fission) وتعرف هاتين النواتين بشظيتي الانشطار (Fission Frements) . وغالبا ما تكون شظايا الانشطار مختلفة الكتل حيث يمكن أن تنتج العديد منها حسب الظروف المتاحة. كما يمكن أن تنتج شظيتا متساويتا في الكتلة وفي هذه الحالة يعرف الانشطار بالانشطار المتماثل (Symmetric Fission) و غالبا ما تكون هذه الشظايا في حالات أثاره أي إنها انويه غير مستقره حيث تبدأ في إطلاق الإشعاع فور تكونها . وهي غالبا ما تكون غنية بالنيوترونات ومن ثم تقوم بإطلاق نيوترونات لحظيه Prompt وكذالك تقوم بإطلاق أشعة γ الحظية كما ويمكن أن تطلق جسيمات β . وإذا كانت طاقة النواة وما زالت كبيره فإنها تقوم بإطلاق النيوترونات بعد ذالك حيث تعرف هذه النيوترونات بالنيوترونات المتأخرة Delayed Neutrons وذلك إذا ما كانت طاقه الإثارة اكبر من طاقة الترابط النووية للنيوترونات . وتلعب هذه النيوترونات المتأخرة دورا بارزا في السيطرة على المفاعلات النووية. كما يمكن أن يحدث الانشطار لبعض الانوية عند قذفها بالبروتونات او الديترونات أو أشعة γ .{9}

2-4 الانشطار النووي Nuclear fission

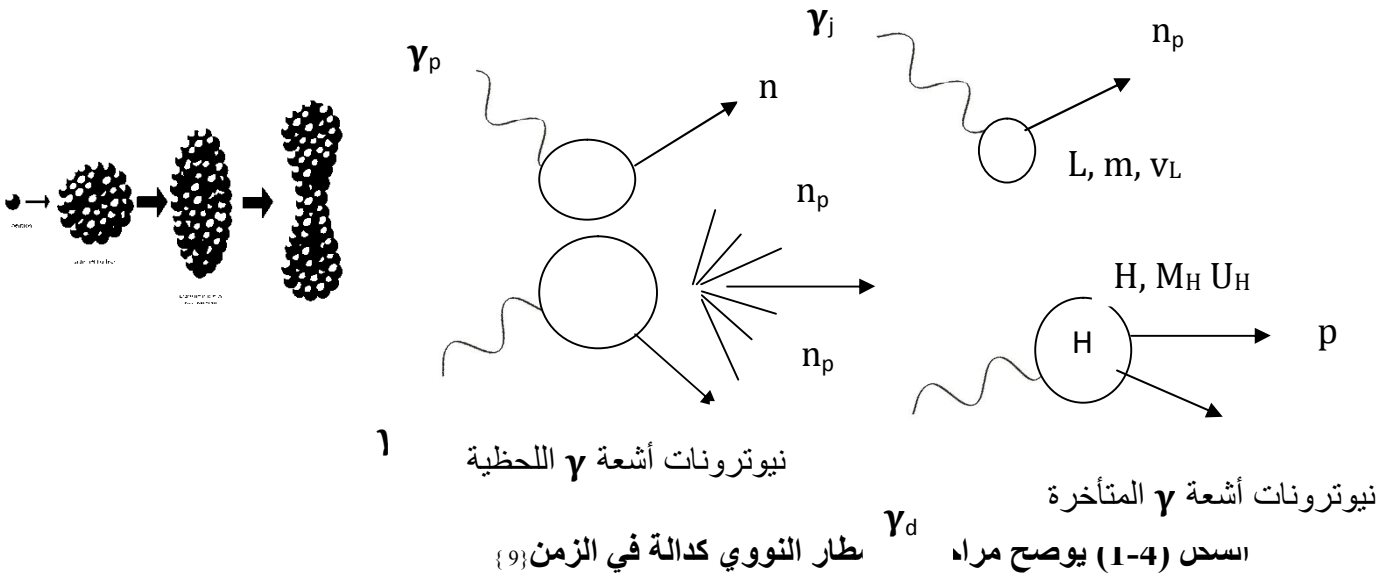
نجد أن النيوترونات المنطلقة من الانشطار النووي تنقسم إلي قسمين رئيسيين:

أ/ نيوترونات لحظية Prompt.

ب/ نيوترونات متأخرة Delayed.

يبن الشكل أدناه مراحل الانشطار النووي كدالة في الزمن وانطلاق كل من النيوترونات اللحظية والمتأخرة.

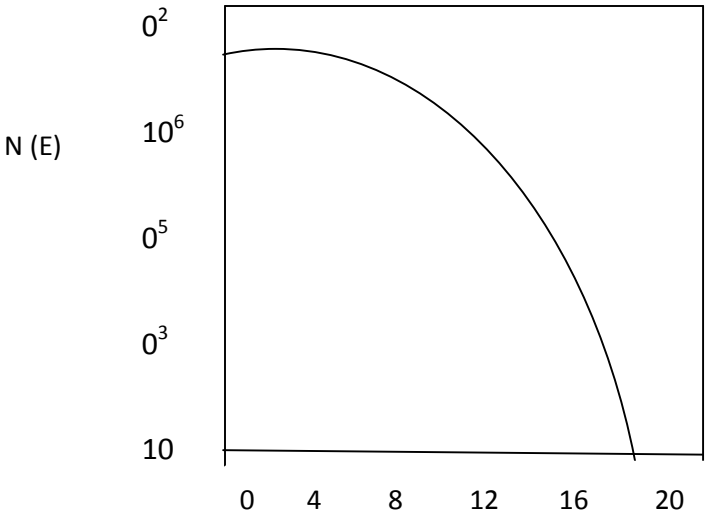
وجد أن 99% من مجموع النيوترونات الناتجة عن الانشطار هي نيوترونات لحظية. ثم يتوقف انطلاق هذه النيوترونات حلاً بعد الانشطار إما النيوترونات المتأخرة فيستمر انطلاقها من شظايا الانشطار لفترة زمنية قد تصل بضع ساعات حسب خصائص هذه النيوترونات حيث يتناقص عددها بمرور الزمن

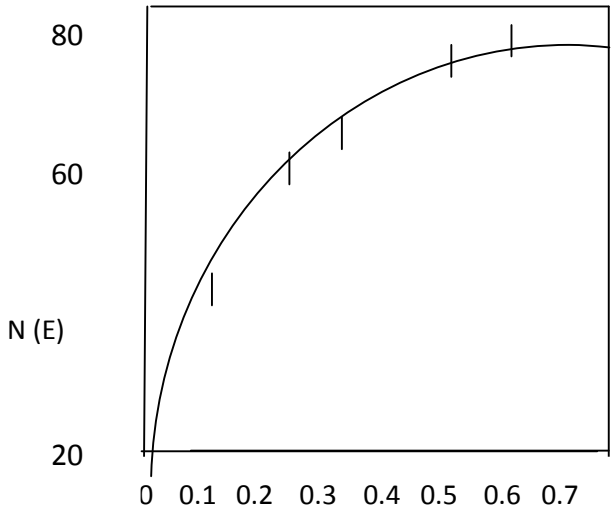


الشكل (4-1) يوضح مراحل الانشطار النووي كدالة في الزمن{9}

4-2-1 أولا النيوترونات اللحظية:First neutrons Streamer

يمكن تعين أو توزيع الطاقة للنيوترونات اللحظية وذلك كما مبينة في الشكل (4-2-أ،ب) يبين الشكل (4-2-أ) توزيع طاقة النيوترونات في مدى الطاقة المنخفضة (من 0 حتى 700 ك. ف. أ) أما في الشكل (4-2،ب) يبين التوزيع الذي يعطي مدى طاقة النيوترونات حتى حوالي 20 م. أ. ف في الشكل (4-2،أ) يبين المنحنى التجريبي الذي يمر بالنقاط المعينة من التجربة وذلك في حدود الخطأ المسموح به. أما في الشكل (4-2،ب) يبين توزيع الطاقات حتى (18 م-أ، ف) حيث توجد قيمة عظمى لتوزيع النيوترونات عند طاقة قدرها (0.75 م. أ. ف) كما يتضح أن معظم النيوترونات تقع طاقتها بين (1-2 م-أ. ف) حيث يتناقص عدد النيوترونات أسيا بعد طاقات قدرها (2 م-أ، ف)





أ/ في مدى الطاقات المنخفضة. لة ب/ في مدى الطاقات العالية.

الشكل (4-2) توزيع طاقة نيوترونات الانشطار {9}

وهنالك علاقة شبه تجريبية يمكنها وصف بهذا التوزيع تعطي بالمعادلة.

N

حيث N (E) عدد النيوترونات المنطلقة بطاقة قدرها E.

ويمكن تعيين الثابت $\sqrt{\frac{2}{\pi_e}}$ وينتج ان المعادلة (4-1) تعطي بالعلاقة:

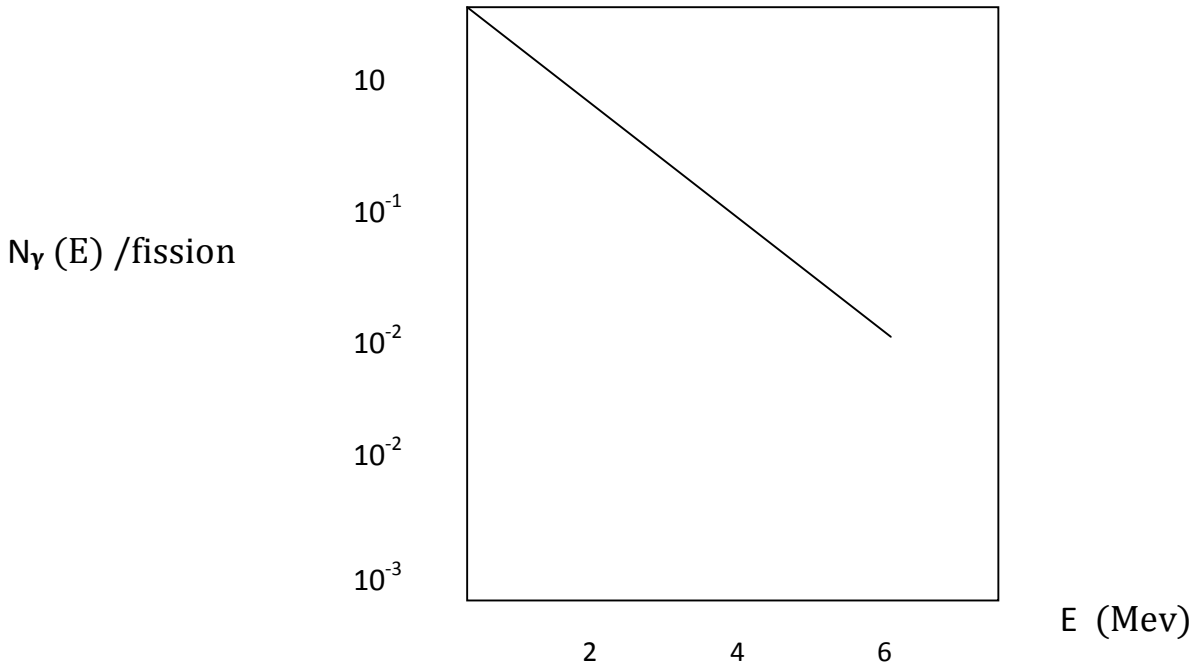
N (

تستطيع هذه العلاقة وصف المنحنى (4-2) لطاقات النيوترونات الواقعة في المدى 0.075 م. أ، ف حتى حوالي 20 م. أ، ف نلاحظ من الشكل أن بعض النيوترونات تتطلب طاقات اكبر من 10 م. أ. ف هذه النيوترونات عالية الطاقة تلعب دوراً هاماً عند تصميم دروع shielding المفاعلات النووية. تعطي المعادلة (4-2) والشكل (4-2) توزيع طاقة النيوترونات الانشطارية لكل من U^{235} وpu^{239} إما في حالة انشطار U^{233} فان هذه العلاقة تستطيع وصف هذا التوزيع تستطيع وصف التوزيع ولكن

مع إدخال ثوابت مختلفة ويصاحب انطلاق النيوترونات انطلاق أشعة ɣ التي تصنف الي صنفين من اشعة ɣ ، وهما انطلاق اشعة ɣ اللحظية واشعة ɣ المتأخرة . حيث يمكن إجراء تصنيف اختياري حيث تعتبر أشعة ɣ الحظية إذا انطلقت خلال مدة زمنية قدرها اقل من 0.1 ميكروثانية فور الانشطار. وتنتج هذه الأشعة عن طاقة الإثارة التي تمتلكها شظايا الانشطار بعد تواكب عادة انطلاق النيوترونات اللحظية. ويمكن ان تنطلق بعد ذلك أشعة ɣ المتاخرة وذلك خلال فترة زمنية اكبر من 0.1 ميكروثابتة من بدء الانشطار.

يبين الشكل (4-3) توزيع طاقة وأشعة ɣ اللحظية الناتجة عن الانشطار حيث يتضح من الشكل ان المنحنى يأخذ شكل دالة اسية وذلك للطاقات بين 0.2 و 4 م. أ. ف. ومن ثم يمكن إعطاء التوزيع بالعلاقة:

حيث $N(E)$ عدد الفوتونات المنطلقة بطاقة قدرها E.



الشكل (4-3) توزيع طاقة وأشعة ɣ اللحظية الناتجة عن الانشطار:

نلاحظ أن طاقة أشعة ɣ تصل الي حوالي 7 م. أ. ف كما ان متوسط الطاقة التي يحملها الفوتون تقدر بحوالي 1 م. أف تقريباً .

4-2-2ثانياً : النيوترونات المتأخرة :- Second: Late neutrons

تمثل النيوترونات اقل من 1% من مجموع النيوترونات المنطلقة. وقد أطلق عليها هذا الاسم لأنها تنطلق متأخرة بعد إتمام الانشطار بزمن يبلغ بضع ثواني حيث يستمر انطلاقها بعد توقف الانشطار وشدتها تنخفض بمرور الزمن لعدة دقائق أو بضع ساعات ويمكن تصنيف النيوترونات في ست مجموعات حسب عمر النصف لها.

حيث يبين الجدول أدناه عمر النصف لكل مجموعة وطاقة كل منها وعدد النيوترونات المتأخرة لكل انشطار حراري لكل من U^{233} و U^{235} Pu^{239} أما في حالة الانشطار بالنيوترونات السريعة فان هذه القيم لا تتغير كثيراً لاحظ هنا أن طاقات النيوترونات المتأخرة اقل من طاقات معظم النيوترونات اللحظية.

المجموعة	عدد النيوترونات المتأخرة الانشطار(10^4)			الطاقة	عمر النصف	الانوية المنتجة للنيوترونات
	U^{233}	U^{235}	U^{239}	(Mev)	(S)	
1	5.7	5.2	2.1	0.25	56.0	Br^{87} ---Kr^{87}—kr^{86} +n
2	19.7	34.6	18.2	0.46	23.0	I^{137} ---Xe^{137}---Xe^{136}+n
3	16.0	31.0	12.9	0.41	6.2	I^{138}—Xe^{138}---Xe^{137}+n
4	18.4	62.4	19.9	0.45	2.23	I^{139}---Xe^{139}--- Xe^{138}+n
5	3.4	18.2	5.2	0.41	0.23	
6	2.2	6.6	2.7	-	0.23	
عدد النيوترونات المتأخرة الكلية	0.0066	0.01580	0.0061			
عدد النيوترونات الكلي الناتجة من الانشطارالواحد (v)	2.5	2.43	2.90			
النسبة المئوية للنيوترونات المتاخرة	2.26	0.65	0.2			

الجدول(4-1) يوضح خصائص النيوترونات المتأخرة الناتجة عن الانشطار الحراري.{9}

3-4 الناتج النيوتروني (Neutrino yield)

تعريف الناتج النيوتروني: هو عدد النيوترونات الكلية الناتجة عن امتصاص نيوتروني بواسطة المواد الانشطارية في المفاعلوتلعب الكمية دوراً حيوياً في تصميم المفاعلات الإنتاجية Reactors Breeder .

4-4 الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

الاضمحلال الإشعاعي عمليه طبيعيه ، فالذرة التي لها نظائر غير مستقره تحدث إشعاعات تلقائيا لتتحول إلى عناصر أخرى مستقره وهذه الإشعاعات تخرج من نواة العناصر في احد ثلاثة عمليات وهي:

1/ اضمحلال آلفا Alpha decay

2/ اضمحلال بيتا Beta decay

3/الانشطار التلقائي Spontaneous Fission

وينتج عن هذا نشاط العمليات الثلاثة أربعه أنواع مختلفة من الأشعة وهي:

1/ أشعة ألفا Alpha rays

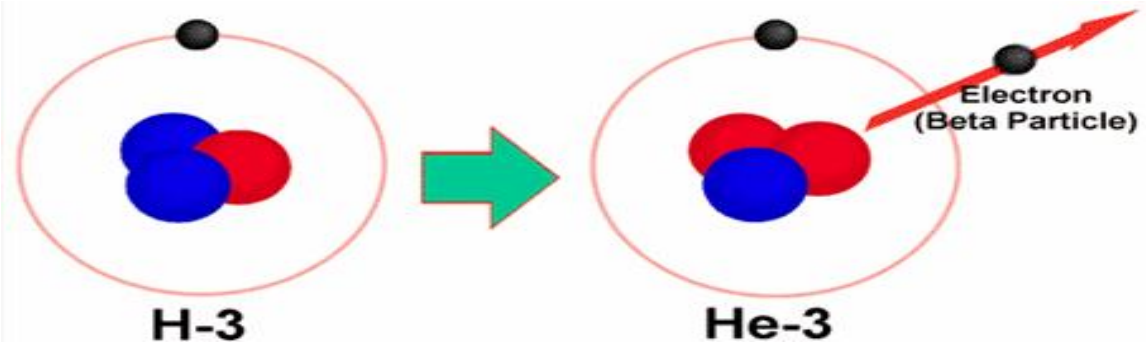
2/ أشعة بيتا Beta rays

3/ أشعة قاما Gamma rays

4/ الأشعة النيوترونية Neutron rays

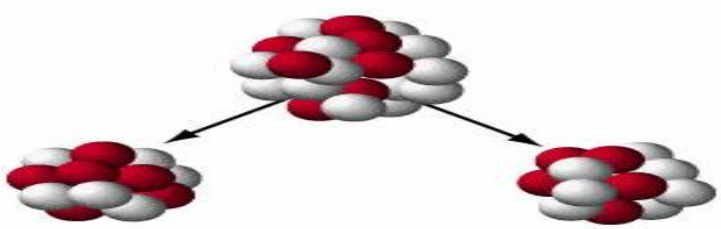
للتوضيح سوف نأخذ مثالا على عنصر مشع وهو الامريكيم americium 241 والمستخدم في أجهزة كشف الحريق ، هذا النصر يطلق جسيمات ألفا وهذه الجسيمات عبارة عن انويه الهيليوم (يحتوي كل جسيم ألفا على بروتونين ونيوترونيين) وعندما تفقد ذرة الامريكيم 241 جسيم ألفا فهي

تفقد من مكوناتها بروتونين ونيوترونيين معا وبهذا فإنها تتحول إلى ذرة نيبتونيم neptunium 237. وتنطلق جسيمات ألفا بسرعة كبيره جدا تصل إلى 16000 كيلو متر/ الثانية. ويحسب مقدار الاضمحلال للعناصر المشعة من خلال عمر النصف والذي يعني مقدار الزمن اللازم لتتحول نصف ذرات العنصر المشع إلى غير مشع وتتراوح أعمار بعض العناصر المشعة من ثواني معدودة إلى عناصر لها أعمار تصل ملايين السنين. والعنصر الذي تحدثنا عنه الامريكيم 241 له عمر نصف يصل إلى 458 سنه بينما الامريكيم 243 يصل عمره إلى 7370 سنه . مثلا التريتيوم (الهيدروجين-3) هو مثال جيد لعنصر مشع ينتج جسيمات بيتا وهي عبارة عن نيوترون يتحول إلى بروتون وإلكترون وجسيم ثالث يسمى مضاد النيوترينو antineutrin وتطلق النواة في مضاد النيوترينو و الإلكترون ولكن تحتفظ بالبروتون. ويسمى الإلكترون الناتج من هذا التحول بجسيم بيتا، وعلى هذا النحو فإن النواة تفقد نيوترون ولكن تكتسب بروتون. ولهذا فإن الهيدروجين-3 يتحول إلى هيليوم-3 وهذا موضح في الشكل أدناه.



تحلل ذرة تريتيوم هيدروجين-3 إلى هيليوم-3

أما في الانشطار التلقائي فإن الذرة بدلا من أن تطلق جسيمات ألفا أو جسيمات بيتا فإنها تنقسم ومن هنا جاءت التسمية بالانشطار. فمثلا في ذرة الفريميم-256 "fermium-256 " تنقسم إلى ذرتين الأولى ذرة الزينون-140 "xenon-140 " والثانية ذرة البالاديوم-112 "palladium-112 " وتنطلق أربع نيوترونات بمجرد الانشطار. يمكن لذرات أخرى أن تمتص تلك النيوترونات وتحدث ما يسمى بالتفاعل النووي وينتج عنه إصدار أشعة جاما.



انشطار نواة إلى نواتين في عملية انشطار نووي

أما الأشعة النيوترونية فهي قادرة على تحويل العناصر الغير مشعة إلى عناصر مشعة ولهذا فهي تستخدم في الطب النووي. كما تستخدم في دراسة الجسيمات الأولية، وتنتج الأشعة النووية في المفاعلات النووية وفي المعجلات.{10 }

5-4 مساحة مقطع الانشطار:- Fission cross section

يمكن لبعض الانويه أن تنشطر عند قذفها بالنيوترونات هذه المواد تعرف بالمواد الانشطارية Fissile مثل U^{235} و U^{233} والبلوتونيوم. كما أن هنالك مواد يمكن أن تنشطر عند قذفها بالنيوترونات السريعة وتعرف بالمواد القابلة للانشطار Fissionable مثل U^{238}. توجد قمم رنينيه لكل من U^{235} و Pu^{239} في مدى الطاقات من 10 - 10^3 إلكترونفولت تقريباً . إما في حالة U^{238} فانه لا ينشطر إلا عندما تبلغ طاقة النيوترون حوالي مليون إلكترون فولت.عندما يسقط النيوترون على مادة ما فان هناك تفاعلين رئيسيين وهما تفاعلي الأسر الإشعاعي Radiative capture أو تفاعل (n , ϒ) حيث يمتص النيوترون الساقط وتثار النواة مما يجعلها تطلق أشعةϒ .أما التفاعل الأخر الانشطار النووي أي تفاعل (n , f) وهذان التفاعلان يتنافسان كل على الأخر ويعتمد احتمال كل منهم على نوع المادة وطاقة النيوترونات وغير ذلك من العوامل.{10}

يبين الجدول (4-2) احتمالات تفاعلي (n ، ϒ) و (n,f) لبعض الانوية المهمة في فيزياء المفاعلات النووية عند قذفها بالنيوترونات الحرارية.

الجدول (4-2) يوضح تفاعلات الأسر والانشطار لبعض الانوية عند قذفها نيوترون حراري (سرعته 2200 م/ث).{9 }

النواة	الانشطار $\sigma_{f\,(b)}$	الأسر الإشعاعي $\sigma_{a\,(b)}$	الاحتمال الكلي $\sigma_{e\,(b)}$
يورانيوم 233	727	54	581
يورانيوم 235	577	106	683
بلوتونيوم 239	742	287	1029
يورانيوم 238	-	2.71	2.71
يوزرانيوم طبيعي	4.2	3.5	7.7

6-4 الطاقة الناتجة عن الانشطار:Energy generated by the fission

يعتبر تفاعل الانشطار النووي مصدراً مهماً للطاقة حيث تتزايد احتياجات الإنسان المعاصر لها حيث يتكرر قدر كبير من الطاقة اثر كل انشطار نووي وتقدر الطاقة الناتجة عن الانشطار بحوالي 200م. أ. ف انشطار نووي. انشطار اليورانيوم عند قذفه بالنيوترونات الحرارية مثلاً. حيث تنشطر هذه النواة إلى الباريوم و الكريبتون حسب العلاقة.

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U _____ {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + Q _____ (6-1-4)$$

ويمكن أن نأخذ التفاعل الشكل التالي:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U -- {}^{236}_{92}U + -- {}^{142}_{57}La + {}^{92}_{35}Br + 2^{1}_{0}n + Q \acute{____} (4-6-2)$$

يمكن تقدير طاقة التفاعل Q بحساب فرق الكتل الداخلة والخارجة من التفاعل حالة التفاعل الأخير نجد أن

$$\acute{Q} = \{[m(n) + m\,(235_U)] - [m\,(la) + m(Br) + m\,(2n)]\}$$

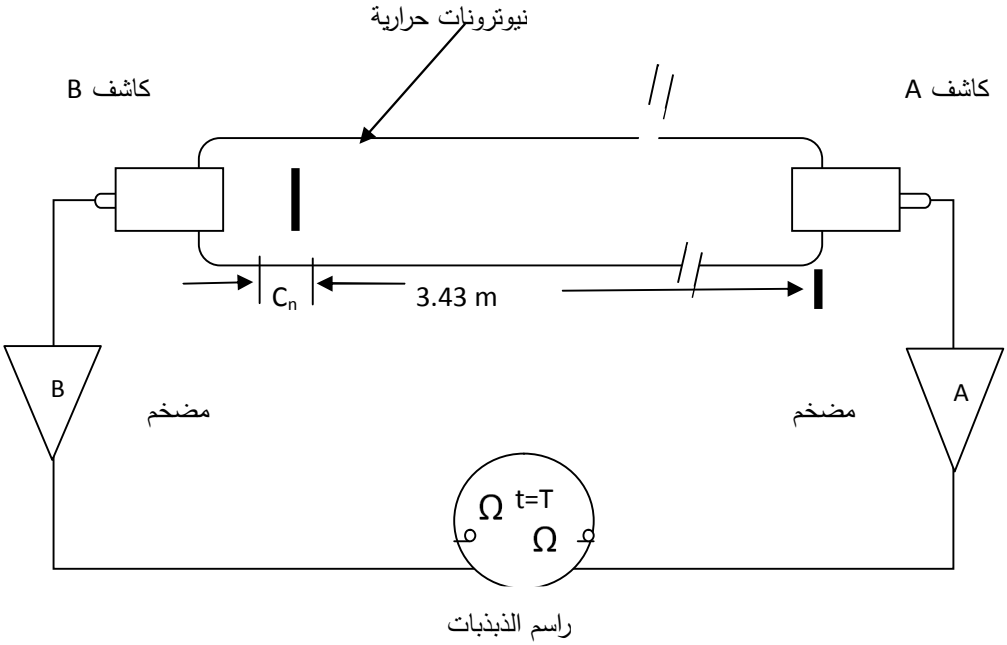
180 Mev = إي حوالي 200 م. أ. ف.

ويمكن تقدير الطاقة الناتجة عن انشطار جرام واحد من اليورانيوم 235 حيث نجد أن جرام واحد من اليورانيوم يحتوي على NA/M أي 56×10^{21} ذرة فإذا انشطرت جميعاً فان الطاقة الحرارية المتكررة تساوي

$$3.11 \times 10^{-11} \times 2.56 \times 10^{21} = 7.96 \times 10^{10} \quad = 2.21 \times 10^{4} \text{ kwh}$$

$$= 22.1 \text{ Mwh} \qquad = 0.92 \text{ Mwd}$$

أي إننا نحصل على طاقة حرارية قدرها حوالي 1 ميقا وات يومياً عند انشطار جرام واحد من اليورانيوم. ويمكن قياس سرعة شظايا الانشطار ومن ثم طاقتها باستخدام تقنية زمن الطيران وذلك بترك هذه الشظايا تتحرك في أنبوب مفرغ بينما يمكن طاقة الحركة باستخدام اي كاشف مناسب كغرفة التأين المزدوجة مثلاً .



يبين الشكل (4-4) ترتيباً بسيطاً لقياس سرعات شظايا الانشطار باستخدام زمن الطيران.{9}

حيث توضع مادة انشطارية مثل أكسيد اليورانيوم Uo_2 على صفيحة رقيقة من النيكل بالقرب من إحدى نهايتين أنبوبة طويلة مفرغة من الهواء ويوضع بالقرب منها كاشف وميض (كاشف B) كما في الشكل (4-4) أما عند الطرف الأخر من الأنبوبة فيقع كاشف الوميض A وعلى بعد قدرة 3.43سم . وعند سقوط النيوترونات الحرارية على اليورانيوم وحدوث الانشطار النووي تتحرك شظيتا الانشطار الكاشفين اللذين ينتجان نبضتين كهربيتين تضخمان بواسطة المضخمات المبينة بالشكل وتغذي النبضات الناتجة بعد ذلك إلى راسم الذبذبات أو دائرة تطابق زمني مناسبة حيث أن الكاشف B يضع بالقرب من اليورانيوم فان النبضة الناتجة عنه تبين بداية زمن القياس t=0 أما

شظية الانشطار المتجهة نحو الكاشف A فيستغرق زمناً قدره T لقطع مسافة 3.43متراً حيث يمكن قياسها على راسم الذبذبات المبين في الشكل وبالتالي يمكن تقدير سرعة هذه الشظية حيث $v = L/t$ حيث L هي المسافة المقطوعة (تساوي هنا 3.43متراً).{9}

4-7 أنواع الانشطار النووي:Types of nuclear fission

هناك طرق عدة لإثارة نواة ما بحيث تكون هذه الطاقة كافية لانشطارها ومن ثم يحدث الانشطار النووي ومنها.

4-7-1 الانشطار الحراري:- thermal fission

يمكن للنيوترونات الحرارية أنتسبب انشطاراً لبعض الانويه عند قذفها بهذه النيوترونات مثل U^{235} وPu^{239} حيث تعرف هذه بالانويه الانشطارية والانشطار الناتج من النيوترونات يعرف بالانشطار الحراري.

4-7-2 الانشطار السريع:- fast fission

يمكن لبعض الانوية الانشطار عند قذفها بنيوترون سريع كما يحدث لليورانيوم 238. نجد أن هذا النظير عند قذفه بنيوترون حراري أو بطيء لا ينشطر ولكن الانشطار ممكن عندما يقذف بالنيوترونات السريعة.

4-7-3 الانشطار بواسطة الجسيمات المشحونة:

Fission by charged particles

يعتبر الانشطار ممكن الحدوث عند قذف نواة ما جسيمات مشحونة وقد وجد انه يمكن أن تنشطر الأنويه متوسطة الكتلة عند قذفها بالبروتون. مثلاً عند قذف انويه النحاس 63 بالبروتونات (الطاقة تبلغ 50 م.أ.ف. على الأقل) فإنها تنشطر الى الكلور و الألمونيوم حسب العلاقة

كما يمكن أن تنشطر إلى الصوديوم و البوتاسيوم حسب العلاقة :

ويمكن أن تنشطر عدة انويه متوسطة مثل البروم 79 والقصدير 10 ويمكن التعرف على شظايا الانشطار بالتحليل الكيميائي للنواتج.

4-7-4 الانشطار الثلاثي:- ternary fission

يمكن حدوث الانشطار الثلاثي في ضوء نموذج القطرة السائلة إلا انه نادر الحدوث. وجد انه عند قذف نواة يورانيوم 235 بالنيوترونات البطيئة فهنالك 3-4انشطاراً ثلاثياً من مجموع 10^6 من الانشطارات الثنائية. كما وجد انه يمكن انطلاق شظيتا الانشطار بالإضافة إلي جسيم ثالث عبارة جسيمات α عالية الطاقة (بطاقة متوسطة قدرها حوالي 15 م. أ. ف) كما يمكن أن ينطلق التريتنيوم ($^3H_1$) أو الهيدروجين الثقيل.

5-7-4 الانشطار الضوئي:- Photo fission

هنالك عدة طرق لإثارة النواة احدهما عن طريق قذفها بالفوتونات العالية الطاقة أو بأشعة γ او اشعة x. وذلك يوضح قطعة من اليورانيوم في حجرة التأين أمام مصدر أشعة γ ويمكن الكشف عن شظايا الانشطار عن طريق تأيين هذه الشظايا بالغاز حجرة التأين ومن ثم قياس تيار التأيين حيث يمكن الكشف عن شظايا الانشطار الناتجة بالكشف عن أشعة B الناتجة عن تحلل هذه الشظايا.

الجدول (4-3) يبين اقل طاقة للفوتونات اللازمة لانشطار بعض الانويه المعروفة.

النواة	اقل طاقة للفوتونات (م.أ.ف)
توريوم – 230	5.40
يورانيوم – 233	5.18
يورانيوم – 235	5.31
يورانيوم – 238	5.08
بلوتونيوم – 239	5.31

6-7-4 الانشطار التلقائي spontaneous fission:

ثم اكتشاف الانشطار التلقائي لبعض الانويه الثقيلة عام 1940م فقد سجلت محاولات الانشطار التلقائي لليورانيوم الطبيعي. من البلاتين حيث توضع في حجرة التأين. وعندما تطلق شظايا الانشطار في اتجاهين متضاربين يتم الكشف عنها كما سبق، وهكذا يمكن الكشف عن الانشطار التلقائي لأنويه تتراوح أعدادها الذرية 90، 96 بدءاً بالثوريوم وانتهاء بالكوريوم وكما لوحظ أن الانويه الثقيلة تطلق جسيمات α .وبتقدم التقنية العلمية ثم تحضير الكثير من النظائر المشعة صناعياً حيث أمكن الوصول إلي انويه يبلغ عددها الذري 167 وعددها الكتلي 261 حيث لم تعطي لها اسم حتى الآن . كما وجد أن نواة عددها الذري 105 وعدد كتلتها 261 تطلق أشعة α بنسبة تفرغ تساوي 75%بينما تنشطر تلقائياً بنسبة تبلغ 25%تقريباً .

8-4 النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار:-

Neutrons resulting from the fission process

النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار هي المطلوبة لإحداث التفاعل المتسلسل وفي الحقيقة فانه يمكن أن تمتص النيوترونات من قبل انويه ذرات الوقود لتتحول إلى نواة جديدة مشعة دون أن تنشطر كما إن العديد من النيوترونات تخرج من الحيز الذي يحتوي مادة الوقود دون إجراء أي تفاعل أو قد تتفاعل مع المواد الأخرى الموجودة ضمن الحيز نفسه وعليه من الضروري توفير كمية من مادة الوقود النووي يوفر احتمال أن يتفاعل نيوترون واحد من ثلاث نيوترونات في كل خطوة تلي عملية انشطار احد انويه مادة الوقود النووي بما يضمن استمرار التفاعل المتسلسل ، وتسمى كمية مادة الوقود التي تضمن ذلك الاستمرار للتفاعل المتسلسل الكتلة الحرجة وهي كمية ممكنة من مادة الوقود يجب تواجدها لإجراء تفاعل متسلسل أي إنتاج طاقة في المفاعل أو إجراء تفجير نووي . تعتمد الكتلة الحرجة في أي مفاعل على العديد من العوامل رغم إنها تكون معروفة بشكل جيد لكل أنواع المفاعلات.{5}

المراجع:

{1} د. مجدي مصطفى امام- الفيزياء النووية والمفاعلات النووية – الاتحاد السوفيتي موسكو- الطبعة 1980م.

{2} منتدى الفيزياء التعليمي www.hazemakeek.com/vb 2009

{3} تاليف د. محمد حبيب بركات – الفيزياء النووية - بريطانيا الطبعة الأولى 2008م---1428ه .

{4} د. محمد أنور بطل - الفيزياء الذرية والجزئية - 1410 هـ - 1989م .

{5} علاء هاشم مناف - نسبية الزمكان في هندسة الفيزياء النووية - الطبعة الأولى 2012م – 1433 ه .

{6} تأليف د. ممدوح عبدالغفور حسن - الثقافة النووية للقرن 21 - الطبعة الأولى 1420ه--- 200م .

{7 } د.احمد الناغي - د. محمد نبيل يس البكري – الفيزياء النووية - القاهرة الطبعة 2008 م— 1428ه .

{8 } محمد بن عبدا لرحمن ال الشيخ – احمد بن نصر كباشي – الفيزياء النووية .

{9} محمد شحاذه الدغمه - على محمد جمعه - على محمد جمعة ، الفيزياء النوويه الجزء الثاني ، جامعة الفتح .

{10} Greenwood, D: "An introduction to the standard & .Cottingham, W model of particle physics", page 1. Cambridge University Press, 2007