فيزياء النيوترون

NEUTRON PHYSICS

Dr.Riyadh Mnadel Hamadneh

الذرة والنواة Atom and Nucleus

أن الذرة هي اللبنة الأساسية للمادة التي تتمثل في 109 عنصر وهي تتكون من الإلكترونات سالبة الشحنة تدور حول جسم مركزي يدعى النوة تتكون النوى من بروتونات protons موجبة الشحنة و أجسام متعادلة الشحنة تدعى **النيترونات neutrons**.

يمثل تفاعل النيوترونات مع الانوية المختلفة احد التفاعلات النووية الشامل والمتنوعة ويرجع هذا الى ان النيوترون يعتبر من المكونات الرئيسية لجميع الانوية (عدا نواة الهيدروجين؟)ويتم التفاعل بين النيوترونات والانوية المختلفة عند الطاقات المنخفضة نظرا لان النيوترون متعادل الشحنة ويمكن ان يخترق حاجز الجهد للنواة بسهولة مهما كانت طاقته منخفضة.

النيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية ولا تشترك في التأثير الكولومي المتبادل مع الالكترونات الذرية او مع البروتونات ولذلك فان تفاعلها مع المادة لا يحتاج الى طاقة كبيرة كما هو الحال في تفاعل جسيمات الفا والبروتونات مع المادة.

يمتلك النيوترون برما مغزلي وعزم مغناطيسي و يوجد النيوترون في نواة الذرة، اما النيوترونات الحرة فغير مستقرة ولها متوسط عمر قدره حوالي 886 s حيث يتحلل الى بروتون والكترون .

هناك العديد من مصادر النيوترونات غالبها ناتج عن تفاعلات نووية مثل تفاعل $^{9}Be\ (\alpha,n)\ ^{12}C$ وفي هذا التفاعل تاتي جسيمات الفا من انحلال الراديوم وتصطدم مع البريليوم المخلوط مع الراديوم فتنبعث نيوترونات ذات مدى واسع من الطاقات .إضافة إلى ذلك فمن الممكن انتاج النيوترونات عن طريق التحلل الفوتوني للبريليوم في التفاعل $^{9}Be\ (\gamma,n)\ ^{8}Be$ ويمكن الحصول على النيوترونات من تفاعل جسيمات الفا المنبعثة من نواة البولونيوم المشع مع انويه البريليوم ,والذي ينتج نيوترونات ذات طيف واسع من الطاقات . كما يمكن الحصول على نيوترونات حرارية بتهدئة النيوترونات السريعة.

يمكن الحصول على اشعاعات من النيوترونات السريعة والبطيئة و لشدة عالية من المعجلات والمفاعلات، ففي المعجلات يتم انتاج النيوترونات السريعة بتصادم جسيمات الفا والبروتونات والديوتريوم المعجلة مع انوية الهدف .**يمكن الحصول على النيوترونات البطيئة** من المفاعلات النووية وذلك بتهدئة النيوترونات السريعة الناتجة من انشطار انوية اليورانيوم او اي وقود نووي اخر .كما يمكن انتاج النيوترونات ايضا باستخدام العناصر الانتقالية، فتتميز بعض العناصر الانتقالية باحتمالية عالية للانشطار التلقائي وانبعاث النيوترونات.

Dr.Riyadh Mnade Ramadhan

يتفاعل النيوترون مع المادة بطريقة تسمى طريقة الأسر Neutron Capture، في هذا النوع من التفاعلات يتم اسر النيوترونات بواسطة نواة الهدف ويتبع ذلك انبعاث فوتونات كاما واحتمالية حدوث الاسر الاشعاعي للنيوترونات تكون عالية بالنسبة للنيوترونات البطيئة اقل من 500كيلو الكترون فولت .

هناك تفاعلات للنيوترون يحدث فيها انبعاث للبروتونات عندما يكون طاقة النيوترون ما بين 0.5−10ميكا الكترون فولت التفاعلات التي ينتج عنها انبعاث جسيمات الفا .وفي بعض الحالات يكون حاجز الجهد الكولومي لانوية الهدف منخفضة ولذلك يتم هذا النوع من التفاعل في هذه الحالة باستخدام النيوترونات الحرارية.

وفي التفاعلات الانشطارية يحدث انشطار للنواة عند قذف الانوية الثقيلة Th^{232} ,Pu^{239} ,U^{235} بالنيوترونات ذات الطاقة اكبر من مليا الكترون فولت .ويمكن انتاج نيوكلونات اذا كانت طاقة النيوترون اكبر من 10 ميكا الكترون فولت فيمكن ان ينطلق نيوترون وبروتون او اكثر من نيوترون .وعند قذف اي نواة بنيوترون يحمل طاقة تكافي عدة مئات من الكيلو الكترون فولت فان هذا النيوترون يسبب اثارة لهذه النواة ثم يتركها ونتيجة لذلك تقل طاقته ، ويسمى هذا التفاعل **بالتشتت غير المرن.**

هناك نوع اخر من التشتت يسمى **بالتشتت المرن للنيوترونات** و في هذا النوع من التفاعل تظل نواة الهدف في نفس مستوى الطاقة التي كانت عليها قبل التفاعل ويظل النيوترون محتفظا بطاقة الحركة الابتدائية في مركز الثقل..

<u>لابد لنا من فهم بعض المصطلحات في هذا المجال:</u>

النظائر Isotopes : -عناصر نوويه متساويه في العدد الذري ومختلفه في عدد النيوترونات.

الايزوتونات Isotones :- عناصر نوويه متساويه في العدد النيوترونات ومختلفه في عدد البروتونات.

الايزوبارات Isobars :-عناصر نوويه متساويه في العدد الكتليA.

الايزوميرات Isomer:- عناصر نوويه متهيجه وذات عمر نصف طويل نسبيا.

الميزونات Mesons:- جسيمات ذات كتله تقع بين كتلة الالكترون m_0 وكتله البروتون m_p، ومنها ميزون باي π وميزون ميون μ وهي احد مكونات الاشعه النوويه .

البوزترون Positron:- وهي الكترونات ذات شحنه موجبه وبنفس كتلة الإليكترونm_0.

النيوكلونات Nucleon :- مصطلح يطلق على كل من البروتونات والنيوترونات.

Dr.Riyadh Mirade Ramadhan

طاقه الربط النووى Nuclear Binding energy

ان النواة تشمل على مجموعتين من الجسيمات المتشابهة هي البروتونات والنيوترونات وان كل واحدة من هاتين المجموعتين موزعة بصورة منفصلة عن الاخرى على مستويات طاقة محددة.

ان الفرق بين الكتلة الحقيقية للنواة وبين مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات كل على انفراد او ,يسمى بطاقة الربط النووية(وهي مقدرة بوحدة الكتلة الذريةa.m.u) **او هي مقدار الشغل اللازم لتحلل النواة الى النيوكليونات وبالعكس فهي الطاقة التي تتحرر عند دمج (A,Z) النيوكليونات لتكوين نواة متماسكة** اي:

$$M(A,Z) = ZM_p + NM_n - B.E$$

لذلك يجب تحويل الطاقة الى كتلة كي نطرح كتلة من كتلة

(علاقة انشتاين)

$$E = Mc^2$$

$$M(A,Z) = ZMp + NMn - B.E/c^2$$

$$B.E = [(ZMp + NMn) - M(A,Z)]c^2$$

ففي النيوكليونات تسمى طاقة الربط Total binding energy باسم(طاقة الارتباط الكلية)

$$B_{tot}(A,Z) = [ZMp + NMn - M(A,Z)]c^2$$

من هذه العلاقة نرى ان كتلة النواة الكلية اقل من كتل مكونات النواة بمقدار طاقة الربط.وتعزى طاقة الربط النووية هذه الى ان مجموع كتل النيوكليونات وهي منفصلة عن بعضها اكبر من كتلة النواة الناتجة من تجمعها **وفرق الكتلة هذا قد تحول الى طاقة مبعثرة مما سبب تماسك النيوكليونات مع بعضها** والحاجة الى تجهيز النواة بالطاقة لبعثرة او فصل نيوكليوناتها.

وتقاس طاقة الربط بوحدة الجول وهذه الوحدة كبيرة جدا بالنسبة لعالم الذرة والنواة لان الكتل الذرية صغيرة جدا لذا فلا يعبر عنها بالكغم او غم وانما يعبر عنها بوحدة ملائمة وهي وحده الكتلة الذرية: (u) وهي

$$u = \frac{1}{12} \times \text{mass of } {}^{12}C \text{ atom} = \frac{1}{12}(12\text{kg/kmole}/N_A)$$

$$u = \frac{1}{12}\frac{12\text{kg/kmole}}{6.02*10^{26}\text{/kmole}} = 1.66\times10^{-27}\text{ kg}$$

$$\text{or } 1u = 1.66\times10^{-27}\text{kg} = 931.5\text{ MeV}$$

Dr.Riyadh Mizade Ramadhan

طاقة الفصل النووية *(Nuclear separation energy (S)):*

لايقتصر التأثير المزدوج على استقرارية ووفرة النوى وانما يتعداه الى التأثير على طاقة فصل الجسيمة النووية (البروتون p , النيوترون n , الديترون $^{2}_{1}H_{1}^{+}$, التريتون $^{3}_{1}H_{2}^{+}$ وجسيمة α ($^{4}_{2}He_{2}^{+}$)) **وتعرف بأنها الشغل اللازم (الطاقة اللازمة) لفصل جسيمة او مجموعة جسيمات من نواة او اكثر** او **تعرف بأنها مقدار الشغل اللازم لفصل بروتون او نيوترون او ديترون او جسيم الفا عن النواة** وبالعكس فأن إهذا المقدار من الطاقة سوف يتحرر عندما تقوم النواة بأقتناص احد هذه الجسيمات ويعبر عن طاقة فصل النيوترون (S_n) بالعلاقة:

$$S_n = [M(A-1,Z) + Mn - M(A,Z)]c^2$$

حيث ان :-
كتلة النواة الاصلية M(A,Z) كتلة الجسم المفصول و Mn كتلة النواة الجديدة و M(A-1,Z)
وطاقة الفصل للبروتون Sp**هي:-**

$$S_P = [M(A-1,Z-1) + M_P - M(A,Z)]c^2$$

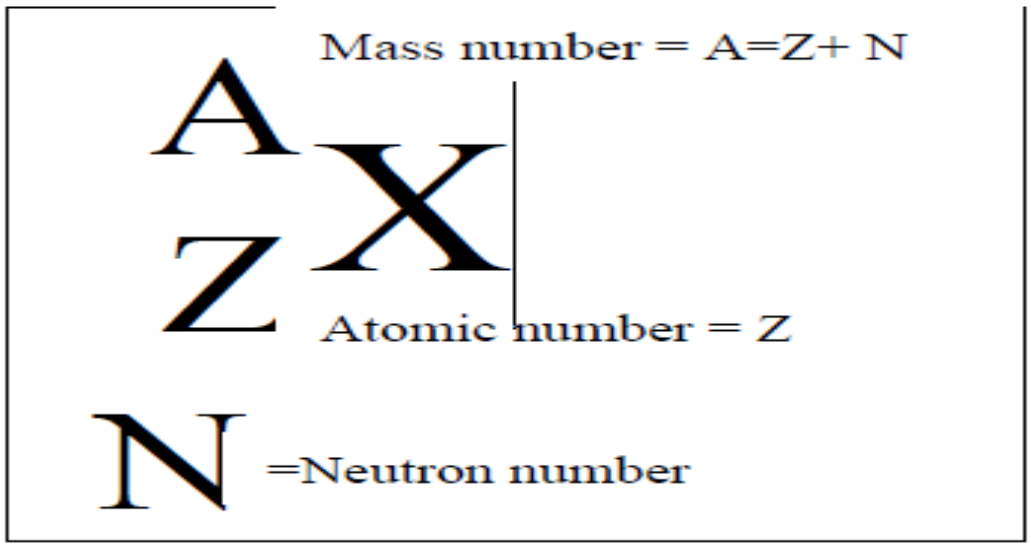
وطاقة الفصل لجسيم الفا Sα**هي:-**

$$S_\alpha = [M(A-4,Z-2) + M\alpha - M(A,Z)]c^2$$

معدل طاقة ارتباط النيوكليون

هي معدل ربط اي من النيوكليونات داخل النواة سواء كانت بروتونات ام نيوترونات اوتعرف ايضا بأنها(معدل الطاقة اللازمة لتحرير احد نيوكليونات النواة.)

$$B_{ave} = \frac{B_{tot}(A,Z)}{A}$$



خواص النيوترونات وتفاعلاتها Neutrons Properties and Reactions

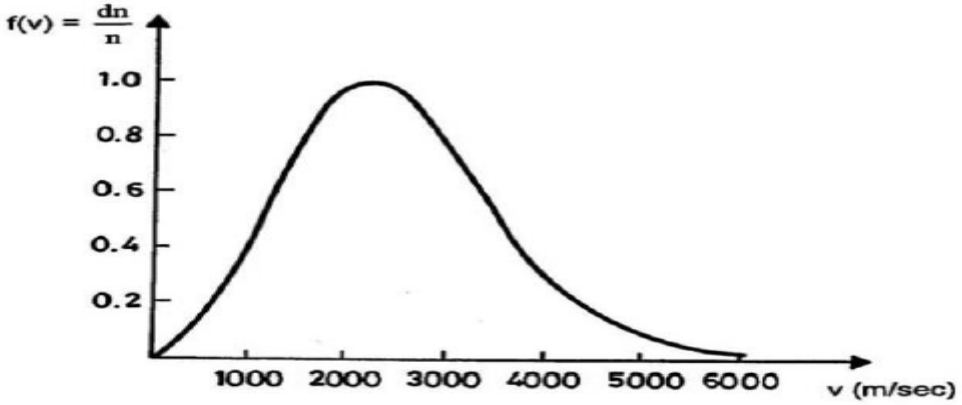
تتصرف النيترونات داخل الوسط الذي ولدت فيه كجزيئات الغاز فالنيترونات السريعـــــة تتباطأ باستمرار حتى تصل الى التوازن الحراري مع جزيئات الوسط وبما ان احتمال تفاعل النيترونات مع المادة يتعلق كثيرا بطاقتها لذا تصنف النيترونات تبعا لطاقتها فهناك نيوترونات حرارية وأخرى نيوترونات بطيئة و ثالثة متوسطة الطاقة ورابعة سريعة .وسيتطرق هذا الباب لكل هذه الأنواع بالإضافة لوصف تفاعلاَت النيوترونات المختلفة.

1- النيوترونات الحرارية Thermal Neutrons

النيوترونات الحرارية هي في اتزان حراري مع الوسط المادي الموجودة فيه ولذلك سميت بهذا الاسم كما انه بالامكان تطبيق قوانين نظرية حركة الغازات عليها حيث انها تخضع لقانون ماكسويل - بولتزمان وفق المعادلة :

$$\frac{dn}{n} = \frac{4v^2}{\sqrt{\pi v_0}} e^{-\left(\frac{v}{v_0}\right)^2} dv$$

حيث ان: dn يمثل عدد النيوترونات التي سرعتها بين v و $v+dv$ و n عدد النيوترونات الاجمالي في وحدة الحجم . اما v_0 فتمثل السرعة الاكثر احتمالا التي توجد تحت قمة منحنى الدالة $f(v) = \frac{dn}{n}$ ،



شكل(1) يمثل توزيع سرعات النيوترونات.

توجد علاقة هامة ايضا حسب نظرية حركة الغازات بين السرعة الاكثر احتمالا υ_0 ودرجة الحرارة المطلقه K^0 وتكتب هذه العلاقة على النحو:

$$E_0 = 1/2\ m_n\ \upsilon_0^2$$
$$= KT$$

حيث ان :

K ثابت بولتزمان $K=1.38065\times10^{-23}$ الذي يمثل ثابت الغاز المثالي. اما T فهي درجة الحرارة المطلقة. يمكن كتابة العلاقة التي تربط بين سرعة النيوترونات ودرجة حرارتها:

$$\upsilon_o = 1.284\times10^2\times\sqrt{T}$$

وبتطبيق هذه المعادلة عند درجة حرارة T=20 C=293.16 ^oK نجد إن السرعة الأكثر احتمالا:

υ_0 = 2200 m/sec

and energy equal to,

E_0 = 1/2 $m_n\ \upsilon_0^2$

= 0.025eV

كذلك يمكن حساب السرعة المتوسطة للنيوترونات الحرارية والطاقة المتوسطة وفق المعادلة:

$$\underline{\upsilon} = \frac{1}{n}\int_o^\infty \upsilon.\, dn = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\upsilon_o = 1.128\upsilon_o$$

كذلك فان ،

$$E_o = \frac{1}{2}m_n\upsilon_o^2 = \frac{3}{2}KT$$

Dr.Ryad Mnade Ramadhan