الخواص النووية

Nuclear Properties

مقدمة : يمكن تقسيم الخواص النووية الى صنفين : الخواص المستقرة Static properties والخواص الحركية (الديناميكية) Dynamic properties . وفي هذا الفصل سنتطرق الى الخواص المستقرة فقط . تعد النواة جسما غامضا وان وصف خواصه بالغة الصغر اصعب بكثير من وصف خواص الاجسام كبيرة الحجم . ومن الممكن وصف النوى بعدد قليل نسبيا من المعالم parameters التي يقصد بها : الخواص النووية وهي : شحنة النواة ، نصف قطرها ، الكتلة ، وطاقة الربط ، والزخم الزاوي النووي الكلي ، والتماثل ، والعزم المغناطيسي ثنائي القطبية ، والعزم الكهربائي رباعي القطبية ، والاحصاء الكمي للجسيمات والنوى ، ومستويات الاثارة في النوى .

وقبل التطرق الى الخواص المستقرة هناك بعض التعاريف والمصطلحات الاساس يجب ذكرها .

التعاريف والمصطلحات المهمة :

- **العدد الذري atomic number (Z) :** هو عدد البروتونات الموجودة في داخل النواة ، وهو ايضا يساوي عدد الالكترونات السالبة في الذرة .
- **العدد الكتلي mass number (A) :** هو اقرب عدد صحيح من الوزن الذري الدقيق لاي نواة او نظير فمثلا بالنسبة لنظير الهيدروجين الخفيف H يكون A=1 ، في حين يكون الوزن الذري الدقيق لهذا النظير 1.0078254 u من وحدات الكتل الذرية u .
- **العدد النيتروني neutron number (N) :** هو عدد النيترونات الموجودة في أي نواة وهو يساوي العدد الكتلي مطروحا منه العدد الذري أي ان

$$N=A-Z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}1)$$

Dr.Malik

- **النيوكلونات nucleon :** يقصد بالنكليون اما بروتون او النيوترون . والنواة التي تمتلك العدد الكتلي A تحتوي على A من النكليونات .

- **النيترون neutron (n)** : وهو احد مكونات النواة متعادل الشحنة (z = 0) وعدده الكتلي A=1 وكتلته تساوي تقريبا كتلة البروتون $m_n = m_p$ واكبر من كتلة الالكترون بحوالي 1836 مرة و برمه $\frac{1}{2}$

- **البروتون proton (p) :** لا يختلف عن النيوترون ، بصورة عامة ، سوى ان له شحنة تساوي وحدة الشحنة الكهربائية أي تساوي شحنة الالكترون ($e = 1.6021773x10^{-19}$ C) .

- **الالكترون electron(e^-)** : جسيمة مشحونة بشحنة سالبة تساوي وحدة الشحنة بالكولوم ($e = 1.6021773x10^{-19}$ C) . وهو ذو كتلة صغيرة جدا بالمقارنة مع البروتون $m_p = 1836\ m_e$ لذا يمكن اهمالها عند الحديث عن كتلة الذرة بصورة عامة (عدا حالات تتطلب ادخال كتلة الالكترون في الحساب) . وكتلة الالكترون بوحدات الكيلو غرام تساوي $9.109389x10^{-31}$ Kg وبوحدات الكتل الذرية u $m_e = 5.485803x10^{-4}$ وتساوي بوحدات المليون الكترون فولت $0.511MeV/c^2$

- **البوزترون positron(e^+)** : هو الكترون مشحون بشحنة موجبة وله نفس كتلة الالكترون السالب .

- **الفوتون photon :** هو وحدة كمية في الإشعاع او الطاقة الكهرومغناطيسي و يظهر على شكل ضوء أو أشعة سينية ***X*** أو أشعة كاما **γ** ويسير بسرعة الضوء .

- **الفونون phonon** : هو وحدة (كم) طاقة الاهتزاز .

- **النظائر isotopes** : تعرف النظائر بأنها العناصر التي تحمل نفس العدد الذري Z وتختلف في العدد الكتلي A وتختلف بعدد النيوترونات N . وقد أكتشف حتى الآن حوالي 1000 نظير مشع و غير مشع لعناصر الجدول الدوري مثل $^{16}O_8$, $^{15}O_7$.

- **الأيزوتونات isotones** : هي تلك العناصر التي تمتلك نفس العدد من النيوترونات N ولكنها تختلف في Z , A مثل $^{15}O_8$, $^{14}C_8$.

Dr.Malik

- **الأيزوبارات isobars** : هي تلك العناصر التي تمتلك نفس العدد الكتلي A لكنها تختلف في Z و N .

- **الأيزوميرات isomers** : هي تلك العناصر التي لها نفس الاعداد من A , Z , N ولكنها توجد في مستويات طاقة مختلفة . مثال ذلك نواة البروميوم ^{80}Br و ^{80m}Br ويمكن ان توجد في مستويين مختلفين (المستوي الارضي ويكون بنصف عمر مقداره 17.6 min) ومستوى حالة مثارة (وتمتلك نصف عمره 4.4 h) والذي يعد عمرا طويلا نسبيا بالمقارنة مع المستوي الارضي . لهذا السبب فان مستوى الاثارة يسمى بالمستوى الايزوميري isomeric state او شبه المستقر metastable والذي يرمز له بالحرف m لتمييزه عن المستوي الارضي .

- **الميزونات mesons** : هي جسيمات لها خواص فيزيائية وتقع كتلتها بين كتلة الإلكترون و البروتون , ومن أنواعها ميزونات **μ** و ميزونات **π** .

- **النوى المرآتية mirror nuclei** : نوى لها نفس العدد الكتلي غير ان عدد البروتونات في احداها يساوي عدد النيوترونات في النواة الاخرى $A_1 = A_2$; $Z_1 = N_2$; $N_1 = Z_2$ مثل : $^{11}_{5}B_6$ $^{11}_{6}C_5$

$^{9}_{5}B_4$ $^{9}_{4}Be_5$

1-1 وحدات وابعاد شائعة الاستعمال في الفيزياء النووية :

في الفيزياء النووية يتم التعامل مع الوحدات التي تناسب ابعاد النواة فبدل المتر يكون الفيمتومتر femtometer والتي تكتب اختصارا fm وتساوي 10^{-15} متر وكما تعرف ايضا بوحدة فيرمي Fermi أي ان Fermi = 1 fm = 10^{-15} m وتتراوح ابعاد النواة من 1fm بالنسبة لنكليون منفرد الى 7fm بالنسبة لاثقل النوى ، وان مدى القوى النووية يكون بحدود 1 – 2 fm وان المقاطع العرضية للتفاعلات النووية القوية تقاس بوحدات المساحة بمرتبة 1 fm^2 وتوجد وحدة اخرى هي البارن للتعبير عن المقاطع العرضية (1 barn=1b=10^{-28} m^2) . وكذلك اجزائها الملي بارن والمايكروبارن .

Dr.Malik

اما الوحدة المهمة الاخرى فهي وحدة الكتل الذرية atomic mass unit ويرمز لها amu او u فقط . والتي تستخدم في قياس الكتل الذرية والنووية . وحددت من قبل الاتحاد الدولي للفيزياء الصرفة والتطبيقية (IUPAP) على انها تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكاربون ^{12}C المتعادلة كهربائيا والمستقرة ، وهي تربط بين وحدة الكتل الذرية ووحدة الكتل الاعتيادية (Kg) حسب نظام القياسات الدولي SI .

$$1amu = \frac{1}{12}\frac{12}{6.02\times10^{23}} = 1.66\times10^{-24}\,gm = 1.66\times10^{-27}\,Kg$$

$$1\,u = \frac{1}{12}\left(\frac{0.012kg/mole}{6.0221x10^{23}/mole}\right) = 1.6606x10^{-27}\,kg$$

باختصار كتلة الذرة هى عبارة عن عدد الكتلة A مقسوما على عدد افوجادرو (N_A=6.02x10^{23}/mole)

وعند دراسة التفاعلات والانحلالات النووية نعبر عن الكتل بدلالة طاقة السكون و من النظرية النسبية لأينشتاين وجدت نتيجة جديدة وهي أن الكتلة والطاقة متكافئتان و قابلتان التحويل إحداهما إلى الأخرى . و العلاقة التالية توضح هذا المفهوم .

$$E = mc^2$$

الطاقة الكتلية السكونية تكون

The rest mass energy of 1u is

$$E = mc^2 = (1.6606x10^{-27}\,kg)(2.998x10^8\,m/s)^2 = 1.492x10^{-10}\,(Kg\,m^2/s^2)$$
$$= (1.492x10^{-10}\,J)/(1.602x10^{-19}\,J/ev) = 931.5Mev$$

From the equation $E = mc^2$, we can write

$$1amu = 931.5MeV/c^2$$

وان ما يربط بين الكتلة والطاقة هو مربع سرعة الضوء لذلك يعد معاملا للتحويل بينهما conversion factor أي C^2=931.5 MeV/u .

و ينبغي أن نتذكر أن وحدة الإلكترون فولت eV هي من أهم الوحدات المستخدمة في الفيزياء النووية : وتعرف على أنها " الزيادة في طاقة حركة الإلكترون عندما يعبر جهد كهربائي مقداره واحد فولت " أي أنها

Dr.Malik

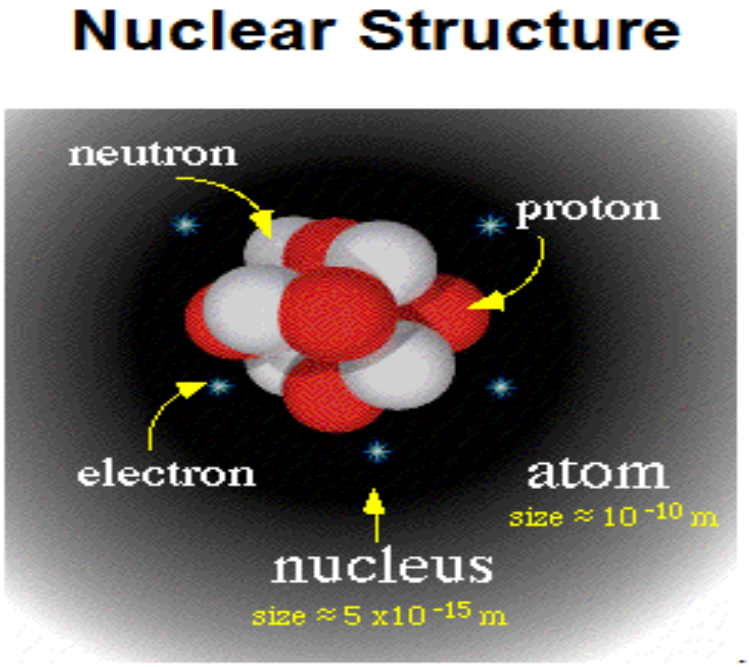
عبارة عن شحنة الإلكترون مضروبة في التغير في الجهد .

$$1eV = 1.6\times10^{-19}C\times1V$$
$$= 1.6\times10^{-19}J$$

ومضاعفات الإلكترون فوات هي :

$$1MeV = 10^{3}KeV = 10^{6}eV$$

تتركب النواة من بروتونات [p] موجبة الشحنة ونيوترونات [n] متعادلة الشحنة . وقد أطلق على هذه الجسيمات نيوكليونات لأنها تسكن داخل النواة .



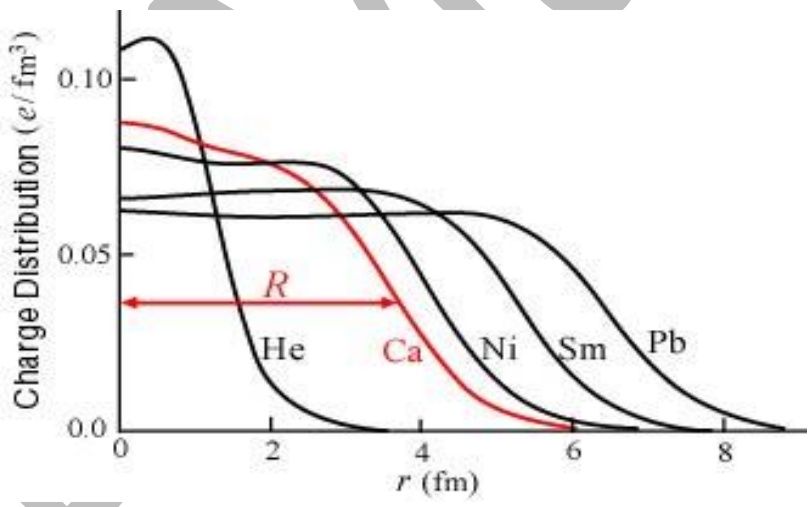
وتبلغ كتلتي هذين الجسيمين :

$$m_p = 1.673\times10^{-27}Kg = 1.0072amu$$
$$m_n = 1.675\times10^{-27}Kg = 1.0087amu$$

وان كتلة النيوترون اكبر من البروتون بحوالي 0.14 % .

1-2 شحنة النوى Charge of Nuclei :

شحنة النواة هي المجموع الكلي لشحنات جميع البروتونات الموجودة في داخل النواة ، وبهذا فانها تساوي (+Ze) أي عدد البروتونات مضروبا في وحدة الشحنة e التي تساوي $e=1.6021x10^{-19}$ C في وحدة الكولوم coulomb وتساوي $4.803206\ x10^{10}$ C بالوحدات الكهروستاتيكية . ان النوى ليست على شكل كرات صلدة rigid وليس لها حافات حادة sharp edge ، لذا فان هناك منطقتين تتوزع فيها شحنة النواة : المنطقة المركزية التي تبدأ من مركز النواة حتى نقطة معينة ، حيث تكون كثافة الشحنة ثابتة تقريبا فيها وتكون متساوية الى حد ما بالنسبة لجميع النوى المختلفة . ولا تختلف الا قليلا من اخف النوى الى اثقلها . اما المنطقة الثانية : فهي القشرة النووية والتي تبدأ فيها كثافة الشحنة بالنقصان حتى تصل الى الصفر . وان سمك القشرة Surface thickness ويسمى احيانا skin thickness ويتحدد بالمسافة التي تقل فيها الكثافة المركزية من 90 % الى 10 % من قيمتها العظمى ولقد وجد ان سمك القشرة ثابت تقريبا لجميع النوى ويساوي 2.3 fm تقريبا .

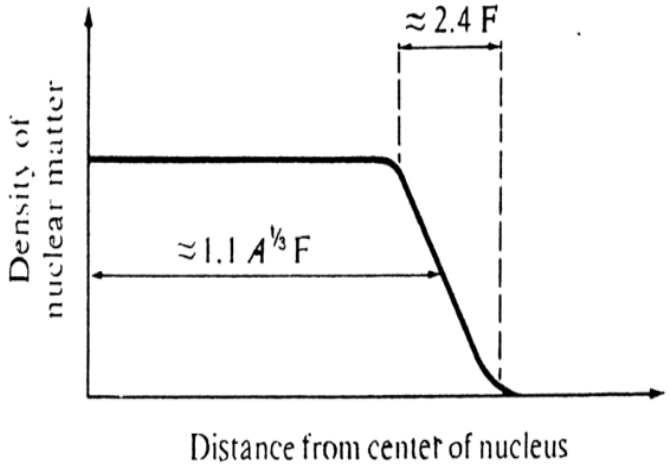


الشكل (1-1) : توزيع الشحنة داخل النواة

1-3 نصف قطر النوى Radius of Nuclei :

يعتمد حجم النواة فعليا على عدد النيوكليونات A الموجودة فيها ، وبما ان النوى لاتمتلك حافات حادة ، لذا لا

يمكن تحديد نصف قطرها بدقة تامة . والمطلوب تحديد تعريف عملي لما سيعتبر نصف قطر. ان كثافة النكليونات التي تعد كثافة المادة النووية nuclear matter density ، على غرار كثافة شحنة النواة ، ثابتة نسبيا على مسافات قصيرة تهبط بعدها حتى تصل الى الصفر . ولهذا السبب يمكن وصف شكل النواة بمعلمين parameters المعلم الاول هو معدل نصف القطر mean radius ، حيث تساوي كثافة المادة النووية نصف قيمتها المركزية $(\rho_o/2)$. والمعلم الثاني هو سمك القشرة ، التي تهبط فيها الكثافة من قرب نهايتها العظمى $(0.9\ \rho_o = 90\%\ \rho_o)$ الى قرب نهايتها الصغرى $(0.1\ \rho_o = 10\%\ \rho_o)$ ويوضح الشكل توزيع كثافة المادة النووية في المنطقة المركزية (الثابتة نسبيا) وفي قشرة النواة .



الشكل (2−1) : توزيع كثافة المادة النووية .

وكما مبين من الشكلين (1−1) و (2−1) فان النيوكليونات لا تحتشد قرب مركز النواة بل تتوزع توزيعا ثابتا الى حد ما ، حتى سطح النواة ، وعليه فان عدد النكليونات في وحدة الحجم ثابت تقريبا ، أي ان :

$$\frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} \sim constant \quad \text{.....(1−2)}$$

وعلى هذا فان معدل نصف قطر النواة يتناسب طرديا مع العدد الكتلي $(R \propto A^{1/3})$ ، ولتحويل التناسب

الى مساواة نضرب علاقة التناسب بكمية ثابتة R_o والتي تعرف بثابت نصف القطر وتسمى احيانا بوحدة نصف قطر النواة nuclear unit radius

$$R = R_o\, A^{1/3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-3)$$

ولكن الصعوبة التي نواجهها هي ان نصف القطر المقاس R يعتمد على نوع التجربة المستخدمة والتي تتحدد بموجبها قيمة R_o وعند استطارة الجسيمات المشحونة بواسطة النوى نحصل على $R_o = 1.4\ fm$ ، التي تختلف نسبيا عن القيم التي يمكن الحصول عليها من استطارة الالكترونات حيث $R_o = 1.25\ fm$ وعليه فان

$$R = R_o\, A^{1/3}\, 10^{-15}\ meter \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-4)$$

وهكذا فان توزيع كثافة الشحنة وكثافة المادة النووية بالنسبة للنوى ذات حافات منتشرة غير حادة يمكن تمثيلها بعلاقة تقريبية تستند الى نتائج تجريبية ، تعرف بعلاقة فيرمي ذات المعلمين

$$\rho(r) = \frac{\rho_o}{1+\exp[(r-R)/a]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-5)$$

حيث $_o$ هي الكثافة المركزية وتساوي $\rho_o = 1.65 \times 10^{44}\,\frac{nucleon}{m^3} = 0.165\, nucl/fm^3$ ، R معدل نصف القطر (يمكن حسابه في المعادلة 4-1) ، a مقياس لسمك القشرة وتتراوح قيمتها من 0.5 الى 0.6 حسب نوع النواة اما سمك القشرة t=4.4a=2.3 fm .

مثال:

احسب كثافة المادة النووية للالمنيوم . اذا علمت ان كثافة الالمنيوم تساوي $2.7\ x10^2\ Kg/m^3$.

الحل:

تركيز النكليونات في وحدة الحجم يساوي

$$n = \frac{A}{V} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi(R_o \times A^{1/3})^3} = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi R_o^3}$$

Dr.Malik

وهذا يعني ان كثافة النكليونات لا تعتمد على A ، أي لا تعتمد على نوع النواة . وهكذا فان

$$n = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi(1.25 \times 10^{-15}\, m)^3} \cong 10^{44}\ nucleon/m^3$$

الكثافة النووية تساوي تركيز النكليونات x كتلة النيكليون ، وبهذا

$$\rho = n \times m = 10^{44} \times 1.67 \times 10^{-27} = 10^{17}\ Kg/m^3$$

والان نحسب الكثافة النووية للالمنيوم على وفق الاتي : ان عدد النوى الموجودة في كيلوغرام مول من المادة يساوي

$$N = \frac{W(Kg) \times N_A}{A} = \frac{\rho \times V \times N_A}{A}$$

حيث N_A هو عدد افوكادرو ، A=27 للالمنيوم و $\rho = 2.7\ Kg/m^3$. وهكذا فان عدد النكليونات في وحدة الحجم

$$\frac{N}{V} = \frac{\rho \times N_A}{A} = \frac{(2.7 \times 10^3) \times 6.022 \times 10^{26}}{27} \cong 6 \times 10^{28}\ nuclei/m^3$$

والان نحسب حجم النوى V من انصاف اقطارها على وفق الاتي : نصف قطر النواة يساوي

$$R = R_o \times A^{1/3} \times 10^{-15} = 1.4 \times (27)^{1/3} \times 10^{-15} = 4.2 \times 10^{-15} m$$

وهكذا فان حجم النواة الواحدة يساوي :

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi(4.2 \times 10^{-15}) = 3.1 \times 10^{-43} m^3$$

الحجم الكلي لجميع النوى يساوي حجم النواة الواحدة x عدد النوى ويساوي

$$\text{Total volume of all nuclei} = 6 \times 10^{28} \times 3.1 \times 10^{-43} = 2 \times 10^{-14} m^3$$

وهذا يعني ان جميع النوى تحتل فقط حوالي جزأين من 10^{14} من حجم مادة الالمنيوم وبما ان

Dr.Malik

الكثافة = الكتلة / الحجم ، عندئذ

$$\text{Nuclear density} = \frac{2.7\times10^{3}Kg}{2\times10^{-14}m^{3}} \cong 10^{17}Kg/m^{3}$$

ومن الحسابات يمكننا القول بان الكثافة النووية للالمنيوم تساوي تقريبا الكثافة النووية لجميع المواد بصورة عامة متساوية وتساوي $10^{17}Kg/m^{3}$.

1-4 مسافة اقرب اقتراب Distance of closest Approach :

المقصود بمسافة اقرب اقتراب هي اصغر مسافة تستطيع فيها جسيمة مشحونة ساقطة من الاقتراب من النواة (الهدف) . وهذه المسافة تعطينا فكرة عن كبر النوى وانصاف اقطارها التقريبية . فعندما تكون الجسيمة الساقطة (جسيمة الفا مثلا ذات شحنة +2e) بعيدة جدا من النواة (ذات شحنة +Ze) ، فان طاقة الفا الكامنة صغيرة جدا ويمكن اهمالها . وبهذا فان طاقتها الكلية ستكون على شكل طاقة حركية فقط ، $T_{\alpha} = \frac{1}{2}mv^{2}$. وكلما اقتربت جسيمة الفا من النواة تناقصت طاقتها الحركية وازدادت طاقتها الكامنة ، حتى تصل في تصادم راسي مباشر، الى مسافة (d) عندئذ تتحول كل الطاقة الحركية الى طاقة كامنة وبهذا

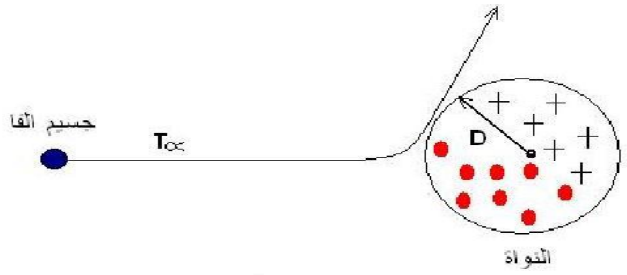
$$T_{\alpha} = \frac{1}{2}mv^{2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_{o}}\frac{2e\times Ze}{d}$$

وان اقرب مسافة تساوي (بوحدات SI) تكون

$$d = \frac{1}{4\pi\varepsilon_{o}} \times \frac{2Ze^{2}}{T_{\alpha}} \quad \text{.....(1-6)}$$

حيث $\frac{1}{4\pi\varepsilon_{o}} = 8.99\times10^{9}\text{N.m}^{2}.\text{C}^{2}$ وان $\frac{e^{2}}{4\pi\varepsilon_{o}} \cong 1.44\ \text{MeV.fm}$

شكل (1-3)



وتكون d اقصر مسافة تصلها جسيمات الفا عند سطح النواة بالوحدات الكهروستاتيكية (esu) تحسب من العلاقة التالية :

$$d = \frac{2Ze^2}{T_\alpha} \quad \text{.....(1-7)}$$

حيث T_α طاقة جسيم الفا الساقط .

مثال :

احسب مسافة اقرب اقتراب لجسيمة الفا ذات طاقة 25 MeV عند تصادمها راسيا مع نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ بالوحدات الدولية ثم بوحدات الكهروستاتيكية ؟

الحل :

بالوحدات الدولية من المعادلة (1-6)

$$d = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \times \frac{2Ze^2}{T_\alpha}$$

وبما ان $\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o} \cong 1.44\ \text{MeV.fm}$ نجد ان

$$d = 1.44\ MeV.fm \frac{2 \times 92}{25\ MeV} = 10\ fm$$

اما بالنسبة لوحدات esu فان الحل من المعادلة (1-7)

$$d = \frac{2Ze^2}{T_\alpha} = \frac{2 \times 92 \times (4.8 \times 10^{-10})^2}{25 \times 1.6 \times 10^{-6}\ erg} = 10.6 \times 10^{-13} cm = 10 fm$$

1-5 كتلة النوى Mass of Nuclei :

معظم مادة الذرة تتمركز في نواتها لان كتلة النكليون الواحد اكبر من كتلة الالكترون ($m=1836m_e$) ولهذا

السبب فان النواة تضم حوالي 99.975 % من كتلة الذرة . ولان الجداول تعطي الكتل الذرية وليس الكتل النووية لذا من الضروري ادخال كتلة الالكترونات وطاقة ربطها (على الرغم من قيمها الصغيرة) عند حساب الكتل النووية لذلك كتلة النواة تساوي

$$M_{nucl.} = M_{atom} - [Zm_e - B_e(z)] \quad \text{.....(1-8)}$$

حيث $nucl.$ هي كتلة النواة ، M_{atom} كتلة الذرة ، Zm_e كتلة جميع الالكترونات وان m_e هي كتلة الالكترون الواحد والتي تساوي القيم الاتية حسب الوحدات المختلفة

$$m_e = \begin{cases} 9.1 \times 10^{-31} Kg \\ 5.48 \times 10^{-4}\ u\ (1u = 1.6610^{-27} Kg = 931.5\ MeV) \\ 0.511 MeV/c^2 (1MeV = 1.6 \times 10^{-13} J) \end{cases}$$

وان $_e(z)$ هي طاقة ربط جميع الالكترونات في الذرة والتي يمكن حسابها من العلاقة

$$B_e(z) = 15.73\ Z^{7/3}\ eV \quad \text{.....(1-9)}$$

بالنسبة لاثقل العناصر طاقة الربط الكلية للالكترونات تصل الى 1MeV تقريبا ، يمكن اهمالها مقارنة مع طاقة الربط النووية ، مثلا لجسيمة الفا هي 28MeV .

1-5-1 زيادة (نقصان) الكتلة Mass Excess (Defect) :

ان الكتل الذرية بوحدات الكتل الذرية لا تختلف كثيرا عن عدد النيوكليونات A لهذا السبب يكون من المناسب التعبير عن الكتل النووية بدلالة زيادة الكتلة $\Delta(Z,N)$ وتسمى ايضا بنقصان الكتلة ، والتي تتحدد بوحدات الكتلة الذرية u من المعادلة

$$\Delta(Z,N) = ({}^{A}_{Z}M_N - A) \quad \text{.....(1-10)}$$

اما بوحدات المليون الكترون فولت فتساوي

$$\Delta(Z,N) = ({}^{A}_{Z}M_N - A) \times 931.5\ MeV \quad \text{.....(1-11)}$$

Dr.Malik

وعلى سبيل المثال لذرة الهيدروجين زيادة الكتلة تساوي

$$\Delta(H) = (1.007825 - 1) \times 931.5 = 7.289\ MeV$$

حيث كتلة البروتون (نواة ذرة الهيدروجين ^1H) تساوي m_p=1.0072764 u وكتلة ذرة الهيدروجين تساوي $m(^1H)$=1.007825 u اما بالنسبة للنيوترون الحر فان زيادة الكتلة تساوي

$$\Delta(n) = (1.008665 - 1) \times 931.5 = 8.0714\ MeV\ .$$

1-5-2 نسبة الربط Packing Fraction :

تعرف نسبة الربط P على انها النسبة بين زيادة الكتلة $\Delta(Z,N)$ والعدد الكتلي A . وتساوي

$$P = \frac{\Delta(Z,N)}{A} = \frac{{}^{A}_{Z}M_N - A}{A} \quad \text{.....(1-12)}$$

من هذه العلاقة يمكن الحصول على المعادلة الاتية التي تستخدم لحساب الكتل الذرية :

$${}^{A}_{Z}M_N = A(1+P) \quad \text{.....(1-13)}$$

المعادلتان (1-12) و (1-13) يمكن ان تستخدما لحساب الكتل الذرية اذا علمنا نسبة الربط او زيادة الكتلة ، التي غالبا ما تعطى في جداول لحساب الكتل الذرية ، وبهذا يمكن تعريف نسبة الربط (1-13) بانها تصحيح صغير يربط الكتلة الذرية بالعدد الكتلي .

مثال : احسب كتلة الديتريوم ^2_1H بوحدات الكتل الذرية u اذا علمت ان زيادة الكتلة تساوي 135.82 KeV

الحل: نحول زيادة الكتلة من كيلو الكترون فولت الى مليون الكترون فولت، ومن ثم الى وحدة الكتل الذرية u

$$\Delta = 13135.82\ KeV = 13135.82 \times 10^{-3}\ MeV = 13.13582\ MeV$$

وبما ان $1u = 931.5\ MeV$ فان $1MeV = \frac{1}{931.5}u$ وعليه فان زيادة الكتلة بوحدات الكتل الذرية تساوي :

$$\Delta = \frac{13.13582}{931.5} = 0.015176\ u$$

ومن تعريف زيادة الكتلة $\Delta = M - A$ يمكن ايجاد الكتلة الذرية للديتريوم

$$M = \Delta + A$$

$$M(^2_1H) = 0.015176 + 2 = 2.015176\ u$$

1-6 طاقة الربط النووية Nuclear Binding Energy :

نعلم جميعاً أن الشحنات المتشابهة تتنافر مع بعضها البعض , لذلك كان من الضروري أن تميل القوى الكهروستاتيكية بين البروتونات داخل النواة إلى جعلها تنفجر , لذلك لزم أن تكون هناك قوة بين النيوكلونات لكي تجعلها تتجاذب معاً حتى تتماسك النواة .

هذه القوة هي ناتجة عن تحول جزء من الكتلة إلى طاقة [$E = mc^2$] لكي تربط مكونات النواة بعضها مع بعض وعدم السماح للقوى الكولومية بالعمل داخل النواة .

ويمكن تعريفها بانها الشغل (الطاقة) اللازم انجازه لتفتيت النواة بالكامل إلى مكوناتها من النكليونات , والعكس هو مقدار الطاقة المتحررة عند جمعنا اعداد مناسبة من البروتونات والنيوترونات لتشكيل نواة معينة

$$B_{tot}(A,Z) = \{\underbrace{ZM_p + NM_n}_{\text{كتلة مكوناتها}} - \underbrace{M(A,Z)}_{\text{كتلة النواة}}\}c^2$$

وتعرف ايضا على أنها " **الفرق بين كتلة النواة الفعلية وكتل مكوناتها مضروبة في مربع سرعة الضوء** " ويرمز لها بالرمز B_{tot} .

وهكذا فان طاقة الربط النووية هي الفرق بين كتلة النواة $^A_Zm_N$ وكتلة مكوناتها من البروتونات (Zm_p) والنيوترونات (Nm_n)

$$B = \{Zm_p + Nm_n - {}^A_Zm_N\}c^2 \quad \text{.....(1-14)}$$

باضافة وطرح كتلة الالكترونات Zm_e لتحويل النوى الى ذرات . وهكذا فان طاقة الربط تساوي :

$$B = \left[\left(Zm_p + Zm_e\right) - Nm_n - {}^{A}_{Z}m_N - Zm_e\right]c^2$$

$$B = \left[\left(Zm_p + Zm_e\right) - Nm_n - \left({}^{A}_{Z}m_N + Zm_e\right)\right]c^2$$

اي ان طاقة الربط بوحدات الكتل الذرية تساوي

$$B = [ZM(H) + Nm_n - {}^{A}_{Z}m_N]c^2 \quad \text{.....(1-15)}$$

حيث ${}^{A}_{N}$ كتلة الذرة المعنية و $M(H)$ كتلة ذرة الهيدروجين .

1-7 معدل طاقة الربط للنكليون Average Binding Energy per Nucleon :

ويمكن تعريف متوسط طاقة الربط لكل نيكليون بالعلاقة :

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

أي ان معدل طاقة ربط نكليون واحد يساوي طاقة الربط الكلية مقسوما على عدد النكليونات .

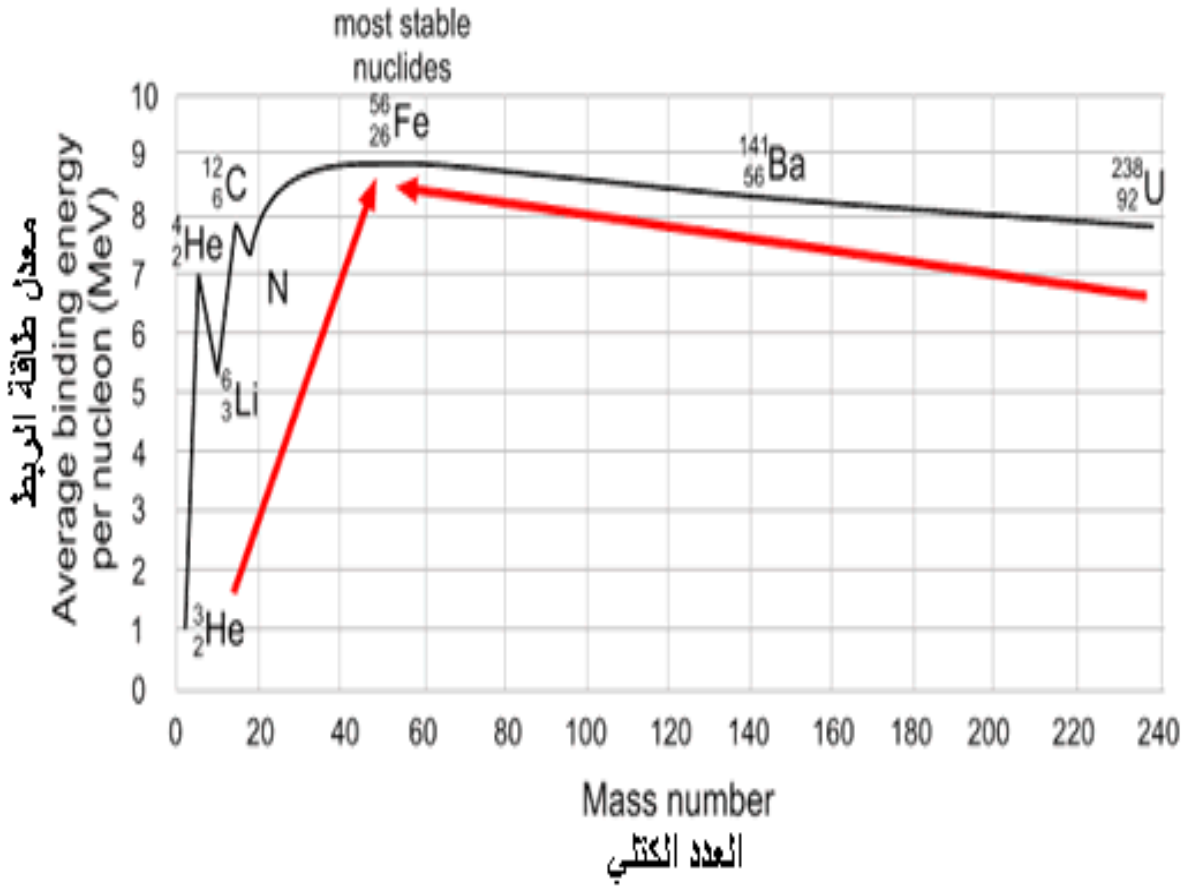
$$\text{معدل طاقة الربط} = \frac{\text{طاقة الربط الكلية}}{\text{عدد النكليونات}} = \frac{B}{A}$$

$$A.B.E = \frac{B}{A} \quad \text{.....(1-16)}$$

طاقة الترابط النووي لكل نيوكليون (معدل او متوسط طاقة الربط) : تزيد قيمة الطاقة الرابطة لكل نيوكلون بزيادة العدد الكتلي (A)، اكبر قيمة لها تكون عند العدد الكتلي 56 ، ثم تقل بزيادة A وذلك بسبب زيادة عدد البروتونات والنيوترونات أي زيادة قوى التنافر الكهربية التي تعاكس قوى الترابط (الجذب) النووية.

Dr.Malik

وعند رسم متوسط طاقة الربط مع عدد الكتلة A نحصل على منحنى كما في الشكل التالي :



ومن هذا الرسم شكل (4-1) البياني نحصل على عدة ملاحظات واستنتاجات :

1. ان معدل طاقة الربط لمعظم النوى يساوي (بحدود 10% اختلاف) حوالي 8.5 مليون الكترون فولت لكل نيكليون أي ان B=8.5 MeV .
2. قيمة B_{ave} لا تعتمد تقريباً على العدد الكتلي { عدد النيوكلونات } ما عدا الأنوية الخفيفة .
3. عند الأنوية الخفيفة $A \leq 30$ تتغير B_{ave} بشكل ملحوظ أما عند $A \geq 30$ فإنها ثابتة تقريباً .
4. في منتصف المنحنى نجد أن B_{ave} أعلى ما يمكن عند 8.4 MeV ~ و يبدأ بالانخفاض إلى أن يصل للقيمة 7.4 MeV ~ .
5. نلاحظ أن العناصر بعد النقطة العظمى 8.4 MeV ~ إذا انشطرت فإنها تعطي طاقة , أما العناصر التي قبلها إذا اندمجت فإنها تعطي طاقة .
6. نلاحظ أن نواة الحديد A=56 هي النواة الأكثر استقرارا .

أمثلة :

مثال {1} : احسب الطاقة التي يطلقها جرام واحد من المادة إذا علمت أن $1amu = 1.66\times10^{-24}\,g$ بوحدات $Kw-h, Joules, ergs$ ؟

حيث 1 سعر = 4.18 جول و 1 كيلو واط . ساعة = 3.6 ×10 ^{6} جول

$erg = 10^{-7}\,J$

$$J = \frac{1}{3600000} KW - H$$

- **الحل :**

$$E = 1g\times\left(2.99\times10^{10}\,cm/s\right)^2$$
$$= 8.98\times10^{20}\,ergs$$
$$= 8.98\times10^{13}\,J$$
$$= 25\times10^{6}\,KW-H$$

مثال {2} : احسب طاقة كتلة السكون للإلكترون بوحدة MeV مع العلم أن كتلة الإلكترون $9.1\times10^{-31}\,Kg$

- **الحل :**

$$E_e = m_o c^2$$
$$= 9.1\times10^{-28}\,g\times\left(2.99\times10^{10}\,cm/s\right)^2$$
$$= 8.18\times10^{-7}\,ergs$$
$$= 8.18\times10^{-14}\,J$$
$$= 0.511MeV$$

- **مثال {3}** : أوجد الطاقة المكافئة لـ [amu] ؟
- **الحل :** نعلم سابقاً أن : $1amu = 1.66\times10^{-24}\,g$ وبالتالى

$$E = mc^2 = (1amu)c^2$$
$$= \left(1.66\times10^{-27}\,Kg\right)\left(3\times10^{8}\,m/s\right)^2$$
$$= 1.49\times10^{-10}\,J = 931.48MeV$$

Dr.Malik

مثال 4: احسب طاقة الربط للدتيريوم ؟

الحل :

نواة الدتيريوم تتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد . لذلك سوف نجد الفرق بين مجموع كتل البروتون والنيوترون وكتلة نواة الدتيريوم (الديوترون) .

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m_d$$

اذا استخدمنا الكتلة الذرية للدتيريوم m_d هذا يتضمن كتلة النواة وكتلة الالكترون . واذا استخدمنا كتلة الهيدروجين بدل كتلة البروتون فان كتلة الالكترون سوف تختصر ضمنيا بالحسابات . لذلك

$$\Delta m = (1.007825u + 1.008665u) - 2.014102u = 0.002388u$$
$$= (0.002388u)(931.49 Mev/c^2/u) = 2.224 Mev/c^2$$
$$E_b = \Delta m c^2 = 2.224 Mev$$

ولكل نيوكليون (متوسط او معدل الربط) هو

$$E_b / A = 2.224 Mev / 2 = 1.11 Mev$$

متال 5: احسب طاقة الربط لـ $^{12}_{6}C$ ؟

الحل :

$$\Delta m = (6m_p + 6m_n) - m_{C-12}$$
$$= 6(1.007825u + 1.008665u) - 12u = 0.09894u$$
$$= (0.09894u)(931.49 Mev/c^2/u) = 92.16 Mev/c^2$$
$$E_b = \Delta m c^2 = 92.16 Mev$$

ولنيوكليون واحد (معدل الربط)

$$E_b / A = 92.16 Mev / 12 = 7.68 Mev$$

Dr.Malik

1-8 طاقات الفصل Seperation Energies :

طاقة الفصل تعرف بانها الطاقة اللازمة لفصل (او انتزاع) بروتون نيترون او جسيمة الفا من النوى . كما يمكن تعريفها بانها الطاقة التي تتحرر عند اسر نكليون او جسيمات من قبل النواة . وعليه فان طاقة فصل النيترون تساوي الفرق بين طاقة ربط النواة وطاقة ربط النواة القريبة منها والتي تقل عنها بنيترون واحد (نظيرها) ، وبهذا تكون مساوية الى :

$$S_n = B({}^{A}_{Z}X_N) - B({}^{A-1}_{Z}X_{N-1}) \quad \text{.....(1-17)}$$

وحسب الكتل تساوي

$$S_n = [{}^{A-1}_{Z}M_{N-1} - {}^{A}_{Z}M_N]c^2 + M_n c^2 \quad \text{.....(1-17a)}$$

وبالنسبة للبروتون طاقة الفصل تساوي :

$$S_p = B({}^{A}_{Z}X_N) - B{}^{A-1}_{Z-1}X_N \quad \text{.....(1-18)}$$

وحسب الكتل

$$S_p = [{}^{A-1}_{Z-1}M_N - {}^{A}_{Z}M_N]c^2 + M_p c^2 \quad \text{.....(1-18a)}$$

وبالنسبة لجسيمات الفا طاقة الفصل تساوي :

$$S_\alpha = B({}^{A}_{Z}X_N) - B({}^{A-4}_{Z-2}X_{N-2}) - B({}^{4}_{2}He_2) \quad \text{.....(1-19)}$$

وحسب الكتل

$$S_\alpha = [{}^{A-4}_{Z-2}M_{N-2} - {}^{A}_{Z}M_N]c^2 + M_\alpha c^2 \quad \text{.....(1-19a)}$$

ويجب ملاحظة وجود حد ثالث في طاقة فصل جسيمة الفا يمثل طاقة ربطها وعدم وجود مثل هذا الحد بالنسبة للبروتونات او النيوترونات ذلك لان النيوكليونات جسيمات منفردة وليست نوى .

كما وان طاقة الفصل البروتون والنيوترون تشبه طاقة التاين في الذرية .

Dr.Malik

مثال :

احسب طاقة فصل نيوترون من نواة ^{16}O ، بوحدات المليون الكترون فولت ؟

الحل :

لحساب طاقة فصل النيوترون نستخدم المعادلة (1-17a) :

$$S_n = [{}^{A-1}_{Z}M_{N-1} - {}^{A}_{Z}M_N]c^2 + M_n c^2$$

$$= [M(O^{15}) - M(O^{16})]c^2 + m_n c^2$$

$$= (15.003065 - 15.994915)u + 1.008664\,u$$

$$S_n = 0.016814\,u = 0.016814 \times 931.5 = 15.66\,MeV$$

1-9 وادي الاستقرار Vally of Stability :

بدلا من معدل طاقة الربط ، يمكن رسم طاقة الربط كدالة للعدد الذري Z وعدد النيوترونات N كما في الشكل (1-5) .

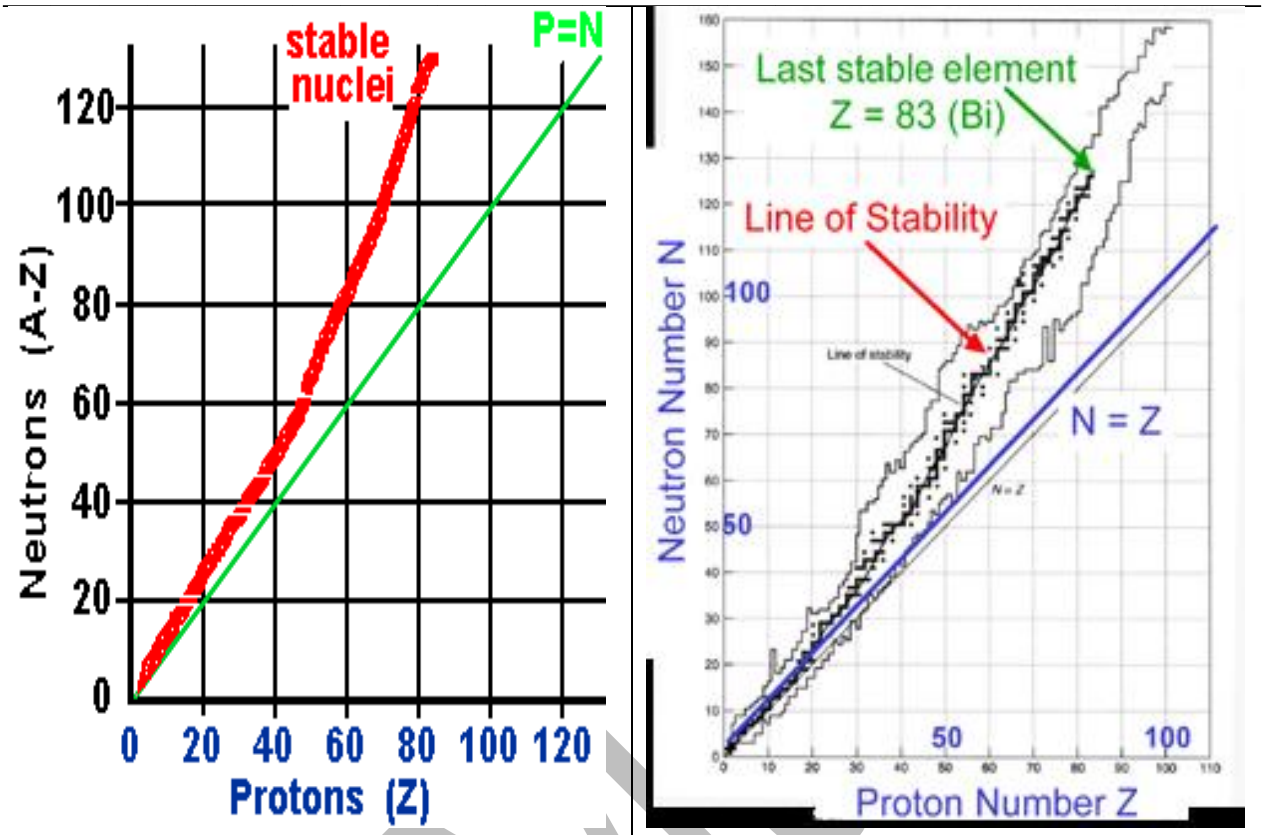
ان الميزة البارزة للشكل هي ان النوى المستقرة تقع في منطقة ضيقة جدا على طول الخط N=Z .

والاستثناء الوحيد هو الزيادة القليلة لعدد النيوترونات على البروتونات باتجاه النوى الثقيلة وذلك لكي تواجه الزيادة في قوة التنافر الكولومي الناتجة عن زيادة عدد البروتونات .

وفي معظم الحالات عدد النوى المستقرة بالنسبة لاعداد معينة من A,N,Z قليلا نسبيا وان اعمار نوى غير مستقرة على جانبي النوى المستقرة تقل كلما ابتعدنا عن المنطقة الوسطى ، وهذا التركيز للنوى المستقرة في منطقة ضيقة بالنسبة للخط (N=Z) يسمى بوادي الاستقرار .

يوضح المنحنى التالي العلاقة ما بين عدد النيوترونات و عدد البروتونات في النظائر :

Dr.Malik



شكل (1-5)

ونستنتج من المنحنى السابق ما يلي :

1. النظائر التي يكون العدد الكتلي لها صغيراً تكون واقعة قريباً من الخط المستقيم . وأما النظائر التي يكون لها $A \geq 30$ لا تقع على الخط المستقيم بل تنحرف عنه .
2. الأنوية التي تقع خارج المنحنى فإنها تشع جسيمات ألفا أو بيتا حتى تصبح نظيراً واقعاً على منحنى الاستقرارية .
3. الأنوية التي تقع على يمين المنحنى الاستقراري تمتلك عدد بروتونات أكثر من عدد النيوترونات لذلك تحاول التخلص من البروتونات الزائدة عن طريق الانبعاث البوزتروني .
4. الأنوية التي تقع على يسار المنحنى الاستقراري تمتلك عدد النيوترونات أكثر من عدد بروتونات لذلك تحاول التخلص من النيوترونات الزائدة عن طريق الانبعاث الإلكتروني .

1-10 الاعداد الكمية لنكليونات منفردة Quantum Numbers for Individual Nucleons :

الحالة التي يكون فيها النكليون داخل النواة تمتاز بمجموعة من الاعداد الكمية التي تظهر عند حل معادلة الموجة التي تمثل حالة النكليون المربوط في بئر (منخفض) الجهد النووي nuclear potential well ، وسنتطرق هنا الى اهم الاعداد الكمية التي سنحتاجها في دراستنا للفيزياء النووية .

1- العدد الكمي الاساسي (n) Principle Quantum Number :

ان كل جسيم منفرد مربوط يرافقه عدد كمي اساس (n) ياخذ فقط قيماً صحيحة وموجبة اكبر من الصفر . وفي مجال كولومي نلاحظ ان الطاقة الكلية للمستوي الذي يوجد فيه النيوكليون تتحدد بالعدد (n)

$$E_n = \frac{\hbar^2 K^2}{2m} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2ma^2} n^2$$

حيث $ka = n\pi$ وان $n = 1,2,3, \dots \dots, \infty$.

2- العدد الكمي المداري (l) Orbital Quantum number :

العدد الكمي المداري ياخذ قيما صحيحة موجبة بما في ذلك الصفر حتى (n-1) وعلى هذا فان

$$l = 0,1,2,3, \dots \dots, (n-1)$$

ومقدار الحركة المدارية التي تقابله يساوي

$$L^2 = l(l+1)\hbar^2$$

أي ان

$$(L) = \hbar\sqrt{l(l+1)}$$

وكما معروف فان لكل مستوى من المستويات المختلفة عدده الكمي الخاص به :

state	s	p	d	f	g	h	i	j
l	0	1	2	3	4	5	6	7

Dr.Malik

3- العدد الكمي المداري المغناطيسي (m_l) Magnatic orbital Quantum number :

العدد الكمي المداري المغناطيسي هو مركبة العدد الكمي المداري (l) باتجاه معين ، مثلا باتجاه المجال المغناطيسي المسلط . ويأخذ هذا العدد اية قيمة من قيم ($2l+1$) الصحيحة الموجبة او السالبة بما فيها الصفر ، والتي تقع بين l و $-l$. وهكذا فان مركبة l باتجاه المجال المغناطيسي (الذي يؤخذ عادة باتجاه المحور Z) هي :

$$|L_Z| = \hbar m_l$$

وعلى هذا فان

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots, \pm l$$

4- العدد الكمي للبرم Spin Quantum Number (S) :

العدد الكمي للبرم s يساوي $\frac{1}{2}$ (بوحدات $\hbar$ ، حيث يكتب احيانا بالشكل التالي $s = \frac{1}{2}\hbar$) .

لذا فان لكل من البروتونات والنيوترونات والالكترونات زخما زاويا ذاتيا يسمى بالبرم الذاتي intrinsic spin يساوي $\left(s = \frac{1}{2}\right)$. اما مقدار الحركة البرمية التي تقابله فيساوي

$$|s| = \hbar\sqrt{s(s+1)}$$

واما العدد الكمي المغناطيسي للبرم m_s الذي يمثل مركبة البرم باتجاه المجال المغناطيسي المسلط فيساوي

$$|S_z| = \hbar m_s \ ; \ (m_s = \pm 1/2)$$

5- العدد الكمي للزخم الزاوي الكلي لجسيمة منفردة

Total angular-momentum Quantum Number for a Single particle (j) :

الزخم الزاوي الكلي (j) لجسيمة منفردة يساوي مجموع الزخم المداري (l) والزخم الزاوي البرمي (S) ، والذي سنكتفي بتسميته بالبرم Spin فقط ، لذا فان

$$j = l + s \quad \text{.....(1-20)}$$

Dr.Malik

اما مقدار الحركة البرمية التي تقابله فيساوي

$$|j| = \hbar\sqrt{j(j+1)}$$

وبالنسبة للجسيمات الاولية حيث $s = 1/2$ فان

$$j = l \pm 1/2 \quad \text{.....(1-21)}$$

وبما ان $l = 0,1,2, \ldots$ فان قيم j ستقتصر على انصاف الاعداد الصحيحة

$$j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \ldots\ldots$$

وهكذا فالنواة التي تتكون من نكليونين فقط برميهما $j_1 = 5/2$ و $j_2 = 3/2$ على سبيل المثال ، ستمتلك زخما زاويا كليا (برم) تتراوح قيمه بين 1 و 4 .

$$|j_1 - j_2| \leq J \leq j_1 + j_2$$

$$\left|\frac{5}{2} - \frac{3}{2}\right| \leq J \leq \frac{5}{2} + \frac{3}{2}$$

$$1 \leq J \leq 4$$

- أي ان J يمكن ان ياخذ ايا من القيم 1, 2 , 3 او 4 . عدد النيوكليونات في كل مستوى حسب القاعدة (2j+1)

1-11 الزخم الزاوي النووي الكلي (برم النواة)

: Total Nuclear Angular Momentum (Nuclear Spin)

يمكن تصور النواة على انها تتكون من نكليونات تتحرك في مدارات معينة حول مركز الكتلة . هذا التصور يتفق مع نموذج الجسيمة المستقلة (نموذج القشرة) ، وبما ان كل نكليون منفرد يمتلك زخما زاويا كليا $j = l + s$ ، لذا فالزخم الزاوي الكلي لنواة تحتوي على A من النكليونات سيكون ، بالطبع المجموع الاتجاهي للزخم الزاوي الكلي (البرمي + المداري $j = l + s$) لجميع النكليونات . وهكذا فان

Dr.Malik

$$J = \sum_{i=1}^{A}(l_i + s_i) = \sum_{i=1}^{A} j_i \quad \text{.....(1-22)}$$

$$J = L + S \quad \text{.....(1-23)}$$

وحيث J هو الزخم الزاوي الكلي للنواة الذي يسمى ببرم النواة ، L الزخم المداري و S برم النكليونات الكلي.

اما مقدار الحركة الناتجة عن برم النواة فيساوي

$$|J| = \hbar\sqrt{J(J+1)}$$

في العديد من التطبيقات ، تتصرف النواة كما لو انها وحدة واحدة (من دون النظر الى مكوناتها من النكليونات) وتكون ذات برم ذاتي J . ففي مجال مغناطيسي يمكن لبرم النواة ان ياخذ $(2J+1)$ من الاتجاهات ، وهو ما يعرف بظاهرة زيمان النووية . لهذا فان

$$J_z = m_J \hbar$$

وياخذ القيم التي تتراوح من $(-J)$ الى $(+J)$ وعلى وفق الاتي

$$-J\,,(-J+1),\ldots\ldots(J+1),+J$$

فعندما يكون $J = 2$ ، فان عدد الاتجاهات الممكنة خمس اتجاهات $(2J+1=5)$ هي :

$$m_z\hbar = +\frac{3}{2}\,,+\frac{1}{2}\,,0\,,-\frac{1}{2}\,,-\frac{3}{2}$$

وفي بعض الحالات تقوم جسيمة واحدة (نكليون منفرد) بتحديد جميع الخواص النووية (في هذه الحالة $J = j$) ، او بواسطة جسيمتين ، عندئذ $J = j_1 + j_2$ ، او بجسيمة واحدة منفردة وما يبقى من النواة الذي يسمى بقلب النواة Core of nucleus ، وفي هذه الحالة $J = j_{particle} + j_{core}$. ونتيجة لذلك ، فهناك عددا من القواعد لتحديد برم المستوي الارضي للنوى :

1- جميع النوى الزوجية – الزوجية (زوجية Z وزوجية N) تمتلك برما يساوي صفرا $J = 0$.

وهذه النتيجة تاتي من الميل الشديد للنكليونات لتشكيل ازواج ببرم يساوي صفرا $J = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}$

(مثال ذلك ${}^{4}_{2}He_2$ ${}^{12}_{6}C_6$ ${}^{16}_{8}O_8}$) .

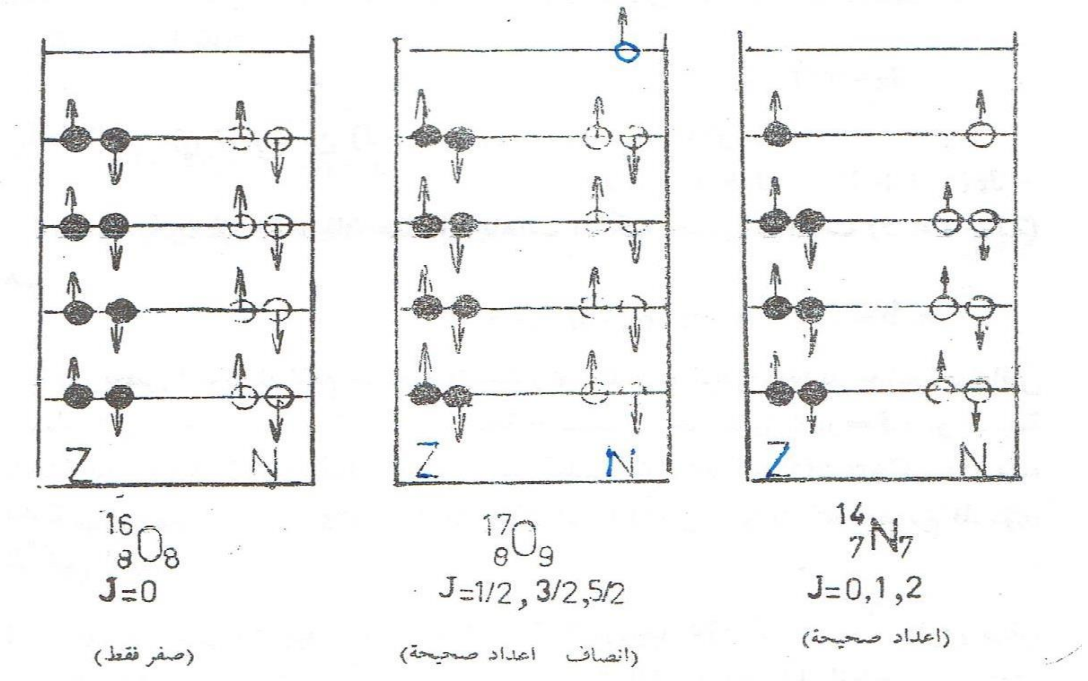
2- بالنسبة لنوى فردية العدد الكتلي (odd-A nuclei) : برم النواة يساوي نصف عددا صحيحا ، أي ان $J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots \dots$ الذي يتحدد دائما تقريبا ببرم الجسيمة المنفردة الاخيرة j ، والذي يساوي حسب المعادلة (1-22) ، انصاف اعداد صحيحة $j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots \dots$. اما بقية النكليونات (A-1) فان عددها سيكون زوجيا وسوف لن تسهم في برم النواة لانها تحاول تشكيل ازواج ببرم $J = 0$ ، (مثال ذلك ^{3}H , ^{17}O , ^{15}N) .

3- بالنسبة لنوى فردية – فردية(odd Z,odd N) ، برم النواة يساوي عددا صحيحا $J = 0,1,2, \dots$ لانه يتحدد باقتران متجه برم البروتون المنفرد j_p مع برم النيويرون المنفرد j_n ، أي ان برم النواة يساوي

$$|j_p - j_n| \leq J \leq j_p + j_n$$

وياخذ اية قيمة من القيم الممكنة التي تساوي اعدادا صحيحة فقط . (مثل $^{6}_{3}Li_3$, $^{14}_{7}N_7$, $^{32}_{17}Cl_{15}$)

وفي ادناه رسوم توضيحية للحالات الثلاث التي يمكن بواسطتها تحديد برم النوى .



مثال : احسب برم النوى التالية ^{16}O ، ^{17}O و ^{14}N مستعينا بالشكل اعلاه .

الحل :

1- بالنسبة للنواة $^{16}_{8}O_8$: بما ان هذه النواة زوجية – زوجية فمن المتوقع ان يكون برمها مساويا للصفر $J = 0$ ذلك لان البروتونات الثمانية والنيوترونات الثمانية تميل الى تشكيل ازواج . وحسب مبدأ الاستثناء لباولي فان كل نكليونين متماثلين لا يمكن ان يحتلا نفس المستوي الا اذا كان برميهما متعاكسين ، ولهذا ستكون المحصلة تساوي صفرا (s=0) لكل زوج ، وسيكون البرم الكلي للنواة يساوي صفراً .

2- بالنسبة للنواة $^{17}_{8}O_9$: وبما ان هذه النواة فردية A ، لذا فمن المتوقع ان يكون برمها نصف عدد صحيح $J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$ والذي يتحدد من قبل النكليون المنفرد (في هذه الحالة النيترون التاسع المنفرد) اما بقية النيترونات الثمانية والبروتونات الثمانية (الزوجية) فلا تسهم في برم النواة الكلي .

وعلى هذا الاساس فان $J = j_n$ ، حيث $j = l \pm 1/2$. فاذا كان النيترون التاسع في مستوى s حيث $(l = 0)$ فان $j = 0 \pm \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ واذا كان في مستوى p $(l = 1)$ فان $j = l \pm 1/2$ وهكذا فان j ياخذ قيمتين : اما $j = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ او $j = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$. وهذا يعني ان $J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$ أي نصف عدد صحيح .... وهكذا بالنسبة لبقية المستويات (g , f , d ...) .

3- بالنسبة للنواة $^{14}_{7}N_7$: هذه النواة هي فردية Z – فردية N ، لهذا فمن المتوقع ان يساوي برمها اعدادا صحيحة بما فيها الصفر $J = 0,1,2, \dots$ وان A عدد زوجي . بالنسبة للنوى الفردية – الفردية ، البروتون المنفرد والنيوترون المنفرد هما اللذين سيسهمان في برم النواة الكلي ، ذلك لان $J = j_p \pm j_n$. بالنسبة للمستوي S حيث $(l = 0)$ فان $j_n = \frac{1}{2}$, $j_p = \frac{1}{2}$ وعلى هذا فان $J = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$ او $J = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$. ولو فرضنا ان البروتون المنفرد يقع في المستوي p $(l = 1)$ والنيوترون المنفرد يقع في المستوي d $(l = 2)$ مثلا . فعند جمع متجهات البروم سنحصل على العديد من الاحتمالات ، غير انها جميعا تؤدي الى نتيجة واحدة هي ان محصلتها ستكون عددا صحيحا وعليه فان برم النواة الكلي المتوقع سيكون عددا صحيحا . ويمكن حساب ذلك وفق الاتي : بالنسبة للبروتون حيث $(l = 1)$ فان :

$$j_p = 1 \pm \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \ or \ \frac{3}{2}$$

واللتان سنشير اليهما مستقبلا بالشكل الاتي $(p_{1/2} \ or \ p_{3/2})$. وبالنسبة للنيترون حيث $(l = 2)$ فان :

$$j_n = 2 \pm \frac{1}{2} = \frac{3}{2} \ or \ \frac{5}{2}$$

واللتان سنشير اليهما مستقبلا على وفق الاتي $(d_{3/2}\ or\ d_{5/2})$. وعلى هذا فان برم النواة الكلي سيكون عددا صحيحا . $J = 0,1,2, \dots \dots$. ومما تجدر الاشارة اليه هو ان برم النواة يتحدد ، من بين هذه التوقعات ، بطرق اخرى .

1-12 التماثل Parity :

ان الخاصية النووية التي تعرف بالتماثل هو تصنيف للدوال الموجية التي تصف الجسيمات او النوى ، وتقسم الى مجموعتين : مجموعة ذات تماثل زوجي even parity (وفي بعض الاحيان تسمى بتماثل موجب positive parity) . ومجموعة ثانية ذات تماثل فردي odd-parity (او تماثل سالب negative parity). وان عملية التماثل تعني حدوث انعكاس في الاحداثيات عبر نقطة الاصل (origion) أي ان $r \rightarrow -r$. فاذا بقي النظام (النواة او الجسيمات) بدون تغيير عند اجراء عملية التماثل فمن المتوقع عدم حدوث أي تغيير في الخواص النووية نتيجة لانعكاس الاحداثيات (x,y,z) الى (-x,-y,-z) او انعكاس الاحداثيات الكروية $(r, \theta, \emptyset)$ الى $(-r, \pi - \theta, \emptyset + \pi)$ وبما ان القيم المقاسة للكميات الفيزيائية الملاحظة تعتمد على الاحتمالية $|\psi|^2$ عندئذ

$$|\psi(r)|^2 = |\psi(-r)|^2 \ \dots\dots\dots\dots\dots\dots(1-24)$$

حيث $\psi(r)$ تمثل الدالة الموجية للنظام ، وهكذا فان

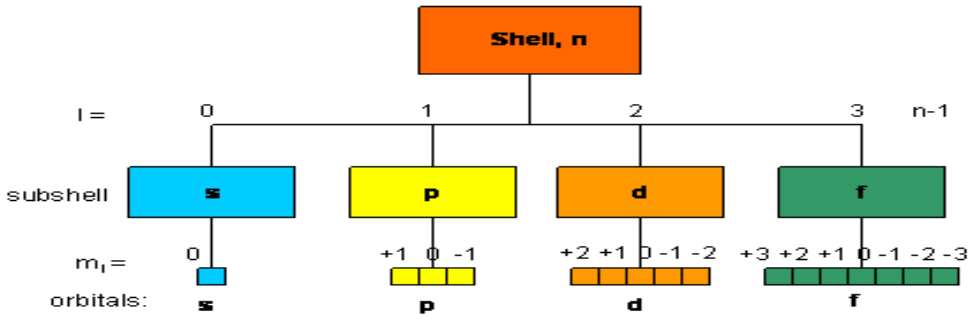
$$\psi(r) = \pm \psi(-r) \ \dots\dots\dots\dots\dots\dots(1-25)$$

وهذا يعني ان الدالة الموجية عند انعكاس الاحداثيات ، اما تكون ذات تماثل موجب $\psi(r) = +\psi(-r)$ او زوجي ،او ان تكون ذات تماثل سالب او فردي $\psi(r) = -\psi(-r)$ اما اذا $|\psi(r)|^2 \neq |\psi(-r)|^2$

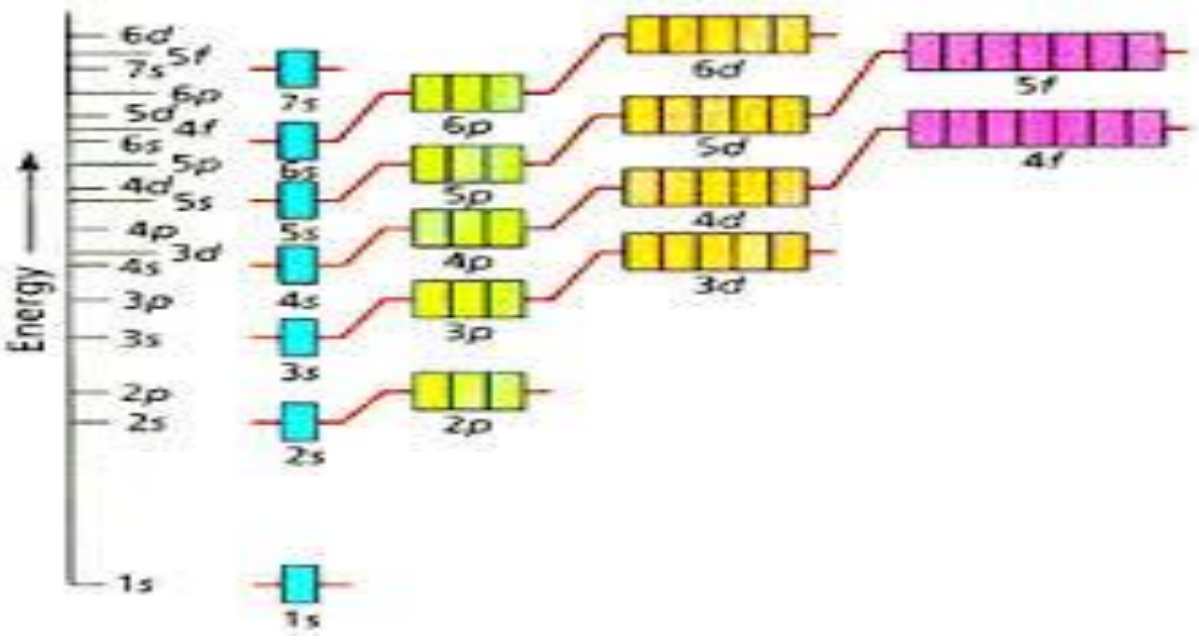
فهذا يعني ان النظام لم يبق ثابتا عند اجراء عملية التماثل ، أي ان هناك خرقا لمبدأ parity symmetry تناظر التماثل الذي يعد احد القوانين الاساسية في الطبيعة ولقد تم اكتشاف هذا الخرق للتماثل في انحلال بيتا .

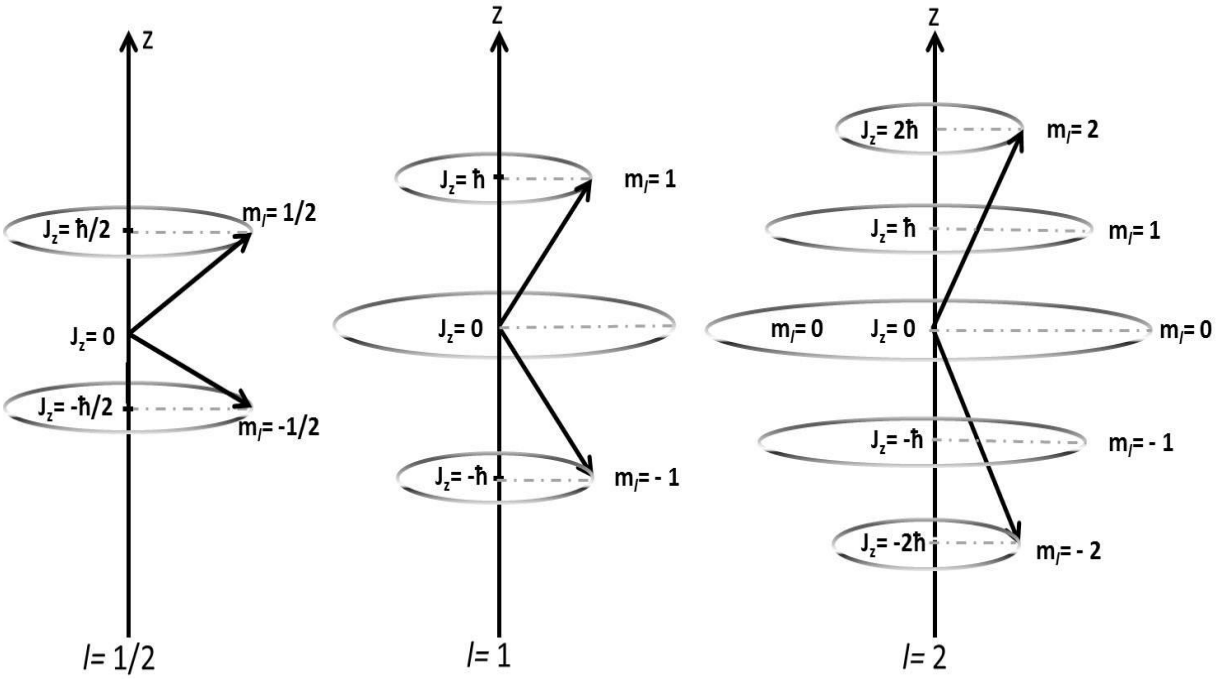
Dr.Malik

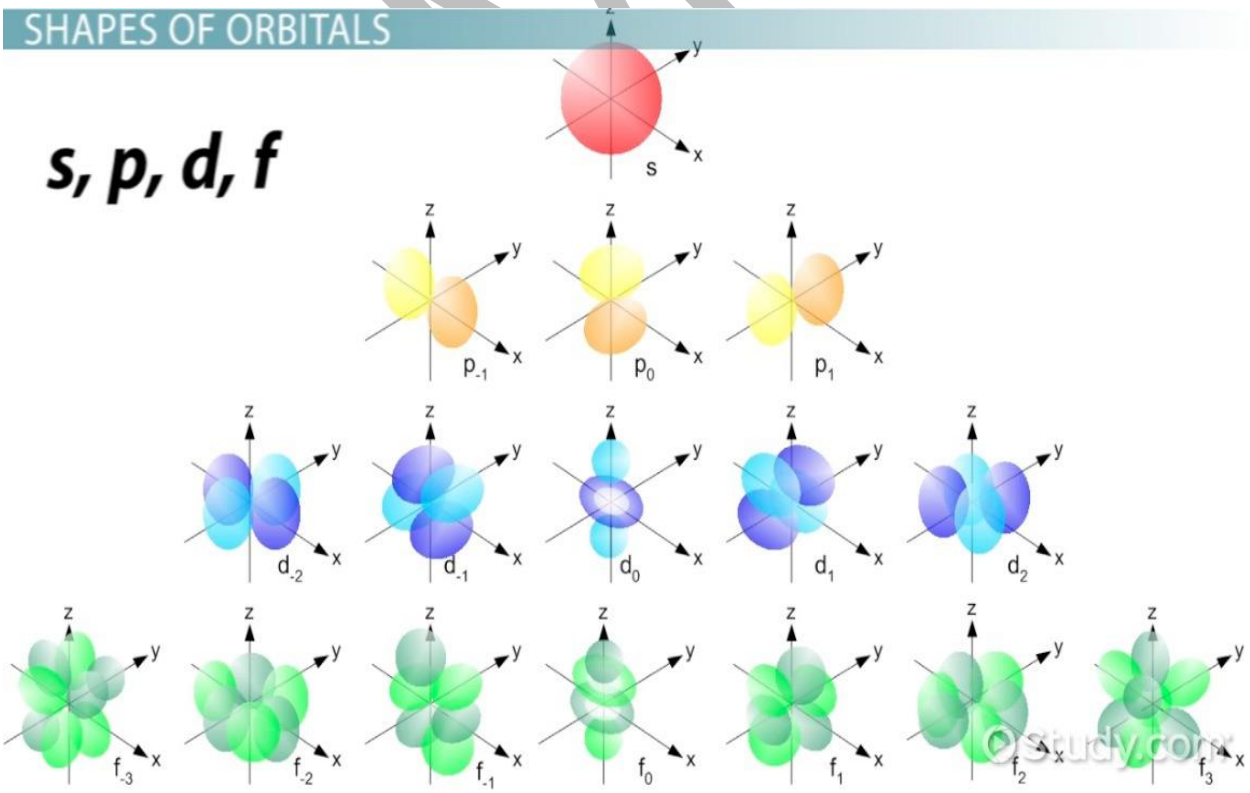
Quantum Numbers



Quantum Number	Symbol	Values	Meaning
principal	n	1,2,... ..	Determine size and energy level. For H, energy depend only on n. (Shell)
angular mom.	l	0,1,... ,n -1	Determine 3D shape of orbitals: 0 =s, 1=p, 2=d, 3=f (Subshell l = 0,1,2,3,.)
magnetic	m_l	-l, l-1, ... -l	Spatial orientation of orbitals.
spin magnetic	m_s	+1/2; -1/2	spin state of electron




Z
$J_z = \hbar/2$
$m_l = 1/2$
$J_z = 0$
$J_z = -\hbar/2$
$m_l = -1/2$
l = 1/2
Z
$J_z = \hbar$
$m_l = 1$
$J_z = 0$
$J_z = -\hbar$
$m_l = -1$
l = 1
Z
$J_z = 2\hbar$
$m_l = 2$
$J_z = \hbar$
$m_l = 1$
$m_l = 0$
$J_z = 0$
$m_l = 0$
$J_z = -\hbar$
$m_l = -1$
$J_z = -2\hbar$
$m_l = -2$
l = 2


SHAPES OF ORBITALS
s, p, d, f
s
p_{-1}
p_0
p_1
d_{-2}
d_{-1}
d_0
d_1
d_2
f_{-3}
f_{-2}
f_{-1}
f_0
f_1
f_2
f_3
©Study.com

النشاط الاشعاعي

Radioactivity

مقدمة :

ظاهرة النشاط الاشعاعي للعناصر هي انحلال ذاتي تلقائي spontaneous decay (disintegration) يحدث للنوى مع انبعاث اشعاع (اشعة الفا او بيتا او كاما ...الخ) ويكون على نوعين: النشاط الاشعاعي الطبيعي Natural radioactivity والنشاط الاشعاعي الاصطناعي Artifical radioactivity . ان معظم النظائر والعناصر الثقيلة ($Z > 82$) الموجودة في الطبيعة والتي تحتوي على اليورانيوم والثوريوم لها خاصية النشاط الاشعاعي الطبيعي(باستثناء البوتاسيوم $K^{40}(1.28 \times 10^9\ y)$ والكاربون $C^{14}(5730y)$ اللذين يعدان من العناصر الخفيفة) .اما النشاط الاشعاعي الاصطناعي فيمكن صنعه في المختبرات من خلال التفاعلات النووية وذلك بقذف نوى معينة بجسيمات مشحونة او بالنترونات او من فصل نواتج الانشطار النووي . ان معدل انحلال مادة ذات نشاط اشعاعي يعتمد على نوع النظير المنحل ومع ذلك يوجد " قانون انحلال decay law " محدد يتحكم بعملية النشاط الاشعاعي لجميع العناصر المشعة .

2-1 قانون انحلال النشاط الاشعاعي The Radioactive Decay Law :

لنفرض ان N من النوى المشعة موجودة في عينة sample معينة في الزمن t والتي لم تنحل بعد . لذا فان العدد المنحل dN خلال فترة زمنية dt (أي من t الى t+dt) . يجب ان يتناسب مع N و dt :

$$-dN \propto Ndt$$

ان الاشارة السالبة تعني ان هناك نقصا في عدد النوى المشعة . لذا فان

$$-dN = \lambda Ndt$$

حيث λ هو كمية ثابتة ويسمى بثابت الانحلال disintegration or decay constant والذي يمثل احتمالية انحلال أي نواة مشعة في وحدة الزمن ، او جزء النوى fraction of nuclie الموجودة في عينة

معينة التي تنحل في وحدة الزمن ، وعلى هذا يمكن كتابة ثابت الانحلال بالشكل الاتي :

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad \text{.....(2-1)}$$

والان نحسب عدد النوى المشعة $N(t)$ الموجودة في أي فترة زمنية t . وهو ما يعرف بقانون الانحلال . وذلك باستخدام المعادلة (2-1) وفق الاتي

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt$$

وعندما نجري التكامل للحصول على $N(t)$ فان حدود التكامل تتحدد من الشروط الابتدائية . ففي الزمن t=0 ، فان $N = N_o$. وفي الزمن t يكون عدد النوى مساويا الى $N = N(t)$. وعلى هذا فان :

$$\int_{N_o}^{N} \frac{dN}{N} = \int_{t=0}^{t} -\lambda\, dt \quad \text{.....(2-2)}$$

حيث N_o هو عدد النوى المشعة الكلي الموجود في الزمن t=0 . وباجراء التكامل نحصل على :

$$\ln N = -\lambda\, t + c \quad \text{.....(2-3)}$$

حيث c هو ثابت التكامل وتتحدد قيمته من الشروط الابتدائية التي ذكرناها سابقا . وبهذا فان

$$\ln N_o = 0 + c$$

وبالتعويض عن قيمة c في المعادلة (2-3) نحصل على ما يعرف بالقانون الاسي لانحلال النشاط الاشعاعي exponential decay law او قانون الانحلال فقط

$$N(t) = N_o\, e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2-4)}$$

وبهذا يمكن كتابة هذا القانون بدلالة الفاعلية الاشعاعية Activity (A) التي تعرف بانها معدل الانحلال disintegration rate للنشاط الاشعاعي :

$$Activity\ (A) = -\frac{dN}{dt} \quad \text{.....(2-5)}$$

معدل الانحلال ، من المعادلة (2–1) يساوي λN لذا فان

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

كما يمكن الحصول على الفاعلية الاشعاعية (A) من المعادلة (4–1) وذلك بضرب طرفيها بثابت الانحلال (λ) ، اذا علمنا الفاعلية الابتدائية A_o او عدد النوى المشعة الابتدائي N_o .

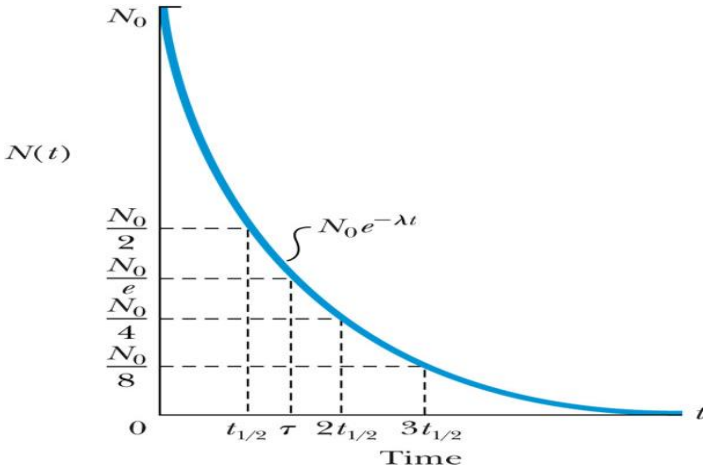
$$N(t)\,\lambda = N_o\,\lambda\,e^{-\lambda t} \quad \text{or} \quad A(t) = A_o\,e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2–6)}$$

وهذا يعني ان الفاعلية الاشعاعية التي تسمى بالنشاط الاشعاعي ايضا بصورة عامة تساوي في الزمن t=0 الى $A_o = \lambda N_o$. وفي أي زمن اخر $A(t) = \lambda N(t)$.

ان العلاقة (2–6) هي ايضا علاقة اسية ويمكن تحويلها الى علاقة خطية لوغارتمية :

$$\ln A = \ln A_o - \lambda t \quad \text{.....(2–7)}$$

وعند رسم هذه العلاقة على ورق نصف لوغارتمي semilog ، أي ان $\ln A$ بدلالة الزمن t الخطي، يجب ان نحصل على خط مستقيم يكون ميلانه $slope = (-\lambda)$. وبهذا يمكن حساب العمر النصفي $(t_{1/2})$ للنواة المشعة بسهولة من حساب ميلان الخط المستقيم ومن العلاقة بين ثابت الانحلال (λ) والعمر النصفي المعطاة في المعادلة (2–8) . ويبين الشكل (2–1) الانحلال حيث N_o هو عدد النوى المشعة عند t=0 .



الشكل (2–1) : قانون انحلال العناصر المشعة

Dr.Malik

ان فاعلية عينة مشعة هي بالضبط عدد الانحلالات في وحدة الزمن . وان انحلالات / ثانية هي وحدة ملائمة للقياس . اما الوحدة الاخرى فهي الكيوري Curie (Ci) ، التي مثلث بالاصل النشاط الاشعاعي لغرام واحد من عنصر الراديوم Radium المشع ، والتي تساوي $1Ci = 3.7 \times 10^{10}\ dis/sec$ ان معظم المصادر المشعة شائعة الاستعمال في المختبرات تكون ذات قوة نشاط اشعاعي يتراوح من مايكروكيوري ($\mu\ Ci$) الى ملي كيوري (m Ci) . اما الوحدة الدولية SI للنشاط الاشعاعي فهي البيكرل Becqurel(Bq) التي تساوي انحلال في الثانية 1Bq=1dis/sec . ومع ذلك فان وحدة الكيوري مازالت هي المشهورة .

2-2 عمر النصف Half-life :

تمتاز النظائر المشعة بقابليتها على اعطاء اشعاع يمكن الكشف عنه بسهولة وتنحل حسب قانون الانحلال . غير ان تحديد هوية او نوعية النظير المشع لا تتم حسب قانون الانحلال بل هي صفة يمتاز بها كل نظير عن النظير الاخر وهو ما نحتاج اليه عند الاستعمال المفيد للنظير المشع او عند الوقاية من مخاطر اشعاعه . (ففي فترة زمنية معينة (ثانية واحدة مثلا) يكون لكل نواة من نوى النظير نفس الفرصة للانحلال . فاذا كان بامكاننا ان نراقب نواة واحدة فمن المحتمل ان تنحل في اللحظة القادمة او بعد عدة ايام وحتى بعد ملايين السنين) . وتعد هذه احدى فرضيات الاساس للنظرية الاحصائية لظاهرة النشاط الاشعاعي والتي يمكن التعبير بالعمر النصفي للنظير . والمقصود بعمر النصف هو الزمن اللازم لانحلال نصف النوى المشعة ، او الزمن اللازم لكي تصبح الفاعلية الاشعاعية للنظير المشع نصف قيمتها الابتدائية (A_o) . وهذا يعني $N = \frac{N_o}{2}$ او $A = \frac{A_o}{2}$ بعد مرور فترة زمنية t مساوية لعمر النصف $t_{1/2}$. وبعد مرور ضعف عمر النصف $2_{1/2}$ فان $N = \frac{N_o}{4}$ وان $A = \frac{A_o}{4}$ ..... وهكذا ، كما في الشكل (1-2). ومن الممكن ايجاد علاقة مهمة تربط بين عمر النصف $t_{1/2}$ وثابت الانحلال λ وذلك باستخدام قانون الانحلال (المعادلة 4-2) وكما ياتي :

$$N(t) = N_o\, e^{-\lambda t}$$

Dr.Malik

وبعد مرور فترة زمنية تساوي عمر النصف $t = t_{1/2}$ فان $N = \frac{N_o}{2}$ وبهذا فان

$$\frac{N_o}{2} = N_o\, e^{-\lambda\, t_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda\, t_{1/2}}$$

وعندما ناخذ اللوغارتم الطبيعي لكلا الطرفين نحصل على :

$$\ln 1/2 = -\lambda\, t_{1/2}$$

$$\ln 2 = \lambda\, t_{1/2}$$

ومن هذه العلاقة يمكن الحصول على العمر النصفي لاي مادة مشعة :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}8)$$

وهذا يعني ان لكل نظير عمرا نصفيا يمتاز به عن بقية النظائر لان ثابت الانحلال λ هو من خواص النظائر والعناصر المشعة .

مثال :

يوجد في جسم الشخص الاعتيادي 140 غرام من البوتاسيوم K . وان نسبة النظير المشع ^{40}K (الذي عمره النصفي يساوي 1.26×10^{9} سنة) في البوتاسيوم K هي 1.18×10^{-3} ما عدد الانحلالات التي تحدث في الجسم في كل ثانية ؟ وما مقدار الفاعلية الاشعاعية بوحدات الكيوري التي يولدها النظير المشع ؟

الحل:

عدد الانحلالات في الثانية يمثل الفاعلية الاشعاعية للنظير المشع فقط ^{40}K أي ان

$$A = \left(-\frac{dN}{dt}\right) = \lambda N$$

والان علينا ان نجد قيم كل من λ و N من العلاقات الخاصة بها كما ياتي :

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{1.26 \times 10^{9} year} = \frac{0.693}{1.26 \times 10^{9} \times 3.16 \times 10^{7} sec} =$$

$$\therefore \ \lambda = 0.174 \times 10^{-16} \ sec^{-1}$$

اما N فيمكن حسابها بعد ايجاد وزن النظير المشع ^{40}K ، الموجود بنسبة 1.18×10^{-3} في البوتاسيوم الطبيعي K .

$$m(^{40}K) = 140 \times 1.18 \times 10^{-3} = 165.2 \times 10^{-3} \ gm \ .$$

وبهذا فان عدد النوى المشعة يساوي

$$N = \frac{W(gm) \times N_A}{A} = \frac{165.2 \times 10^{-3} \times 6.025 \times 10^{23}}{40} = 25 \times 10^{20} \ atom/mole$$

وبعد حساب قيم λ و N يمكن حساب الفاعلية الاشعاعية التي ستساوي :

$$A = \lambda N = 0.174 \times 10^{-16} \times 25 \times 10^{20} = 4.35 \times 10^{4} \ dis/sec$$

وللتحويل من انحلال / ثانية الى وحدات الكيوري يجب التقسيم على معامل التحويل الذي يساوي

$\frac{1 \ dis}{sec} = \frac{1}{3.7} \times 10^{10} Ci$ وبهذا نحصل على

$$A = \frac{4.35 \times 10^{4}}{3.7 \times 10^{10}} = 1.17 \times 10^{-6} \ Ci = 1.17 \ \mu Ci$$

2-3 معدل العمر Mean Life :

ان معدل العمر (او متوسط العمر) واحيانا يسمى بالعمر فقط (تاو tau) ، هو معدل الزمن الذي تبقى فيه النواة قبل انحلالها . او معدل الزمن المنصرم لانحلال كل نواة على انفراد . وعلى هذا فان معدل العمر يساوي العمر الكلي لجميع النوى (أي مجموع اعمار جميع النوى) مقسوما على عدد النوى التي كانت موجودة منذ البداية (N_o) ، وبهذا فان

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} (-dN) \, t}{N_o} \quad \text{.....(2-9)}$$

Dr.Malik

حيث dN – هو مقدار التغير (النقصان) الذي يحدث في عدد النوى خلال فترة زمنية t ، وان (N_o) هو عدد النوى الابتدائي (الاصلي عند الزمن t=0) .

وبما ان $-dN = \lambda N dt$ وان $N = N_o e^{-\lambda t}$ كما مر سابق ، لذا فان معدل العمر هو

$$\tau = \frac{\int_0^\infty tN\lambda dt}{N_o} = \frac{\int_0^\infty t\, N_o \lambda e^{-\lambda t} dt}{N_o} = \int_0^\infty t\, \lambda e^{-\lambda t} dt \quad \text{.....(2-10)}$$

$$\tau = \lambda\left[\int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt\right] \text{.....(2-10a)}$$

يمكن تكامل $\int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt$ بالتجزئة باعتبار ان $u = t$ لذلك يكون $du = dt$ كذلك باعتبار ان $dv = e^{-\lambda t} dt$ وهذا يودي الى

$$v = \int e^{-\lambda t} dt = \frac{\lambda}{\lambda}\int e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda}\int -\lambda e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}$$

وحسب قانون التكامل بالتجزئة الذي ينص بان $\int u dv = uv - \int v du$

يكون نتيجة التكامل

$$\int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} t e^{-\lambda t}\Big|_0^\infty - \int_0^\infty -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} dt = 0 - \left[-\frac{1}{\lambda}\int_0^\infty e^{-\lambda t} dt\right]$$

$$= \frac{1}{\lambda}\left[\frac{\lambda}{\lambda}\int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda}\int_0^\infty -\lambda e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}\Big|_0^\infty = -\frac{1}{\lambda}[0-1] = \frac{1}{\lambda}\right]$$

$$\because \int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}\left[\frac{1}{\lambda}\right] = \frac{1}{\lambda^2}$$

بتعويض هذه النتيجة بالمعادلة (2-10a) نحصل على

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(2-11)}$$

وهذا يعني ببساطة ان معدل العمر يساوي معكوس ثابت الانحلال . ومن الممكن ايجاد علاقة بين عمر النصف ومعدل العمر ، وذلك كالاتي :

$$\tau = \frac{1}{\frac{0.693}{t_{1/2}}} = 1.44\, t_{1/2} \quad \text{.....(2-12)}$$

Dr.Malik

$t_{1/2} = 0.693\,\tau$ .....(2-13)

ومن الممكن حساب عدد النوى المشعة المتبقية (او النشاط الاشعاعي المتبقي) بعد مرور زمن يعادل معدل العمر . أي عندما تكون $t = \tau$ وذلك باستخدام المعادلة (2-4) كما ياتي :

$N = N_o e^{-\lambda t}$

When $t = \tau$

$N = N_o e^{-\lambda \tau}$

وبما ان $\tau = \frac{1}{\lambda}$ حسب المعادلة (2-11) لذا فان

$N = N_o e^{-1} = \frac{N_o}{e}$ .....(2-14)

اما بالنسبة للفاعلية فان

$N\lambda = \frac{N_o}{e}\lambda$

$A = \frac{A_o}{e}$ .....(2-15)

وهذا يعني ان كلا من عدد النوى والفاعلية يقل بمقدار $\frac{1}{e} = 0.368$ من قيمتها الاصلية بعد مرور فترة زمنية بقدر معدل العمر $(t = \tau)$.

2-4 العدد الكلي للنوى المشعة Total Number of Radioactive Nuclei :

ان قانون الانحلال المعادلة (2-4) يسمح لنا بتقدير عدد النوى غير المنحلة والمتبقية بعد فترة زمنية t . غير انه يتطلب معرفة عدد النوى المشعة الاصلية N_o وهذه الكمية يمكن حسابها بطريقتين . الطريقة الاولى تتم بوزن كمية من النظير المشع النقي مهما كانت صغيرة بواسطة ميزان دقيق جدا واذا لم يكن النظير نقيا 100 % فمن الضروري معرفة تركيبه الكيميائي بدقة . ومن العلاقة .

Dr.Malik

$$N = \frac{W(gm)\times N_A}{A} \quad \text{.....(2-16)}$$

حيث W وزن النظير النقي (او نسبة وزنه اذا كانت على شكل مركب) بالغرامات و N_A عدد افوكادرو و A العدد الكتلي . والطريقة الثانية هي من حساب المساحة المحصورة تحت منحني الانحلال من الشكل (2-1)

$$\text{Area}=N_o \quad \text{.....(2-17)}$$

سوف ينتج ان المساحة تحت المنحني تساوي العدد الكلي للنوى الموجودة منذ البداية .

مثال :

النظير المشع $^{24}N_A$ (عمره النصفي 15 ساعة) يستعمل لقياس معدل انسياب الماء المالح بصورة عامة . لنفرض اننا حصلنا على 5 مايكروغرام من هذا النظير وذلك بتشعيع الصوديوم المستقر $^{23}N_A$ بالنيترونات . كم سيبقى لدينا من النظير المشع بعد مرور 24 ساعة ؟

الحل :

نطبق قانون الانحلال

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

$$N = 5 \times e^{\frac{-0.693}{15}\times 24}$$

$$N = 5 \times 0.33 = 1.65\ \mu g$$

ملاحظة : بما ان العمر النصفي والزمن المنصرم قبل اجراء القياس هما بالساعات لذا فليس هناك ضرورة لتحويلها الى الثواني .

Dr.Malik

2-5 قياس الاعمار النصفية Measurment of half – lives :

اعمار النصف للنوى المشعة تتراوح من جزء من الثانية الى ملايين السنين ولهذا فمن غير الممكن استخدام طريقة واحدة لتحديد الاعمار النصفية وانما هناك طرق مختلفة تعتمد على طول العمر النصفي .

1- كما ذكرنا بالمعادلة (2-7) تعطينا ميلان الخط المستقيم الذي يمثل عملية انحلال النظير المشع والذي يساوي ثابت الانحلال $slope = -\lambda$ ومنه يمكن ايجاد العمر النصفي بسهولة حيث $t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ ان هذه الطريقة من القياس مفيدة فقط بالنسبة لاعمار النصف التي لا تكون طويلة جدا كما لا تكون قصيرة جدا .

فعمر النصف يجب ان يكون قصيرا الى درجة يمكننا ان نلاحظ العينة وهي تنحل أي نستطيع ان نسجل اختلافا ملموسا في معدل عدد العدات counting rate كما ان عمر النصف يجب ان لايكون طويلا الى درجة بحيث اننا لا نستطيع ان نلاحظ أي تغيير في معدل عدد العدات في فترة زمنية معقولة .

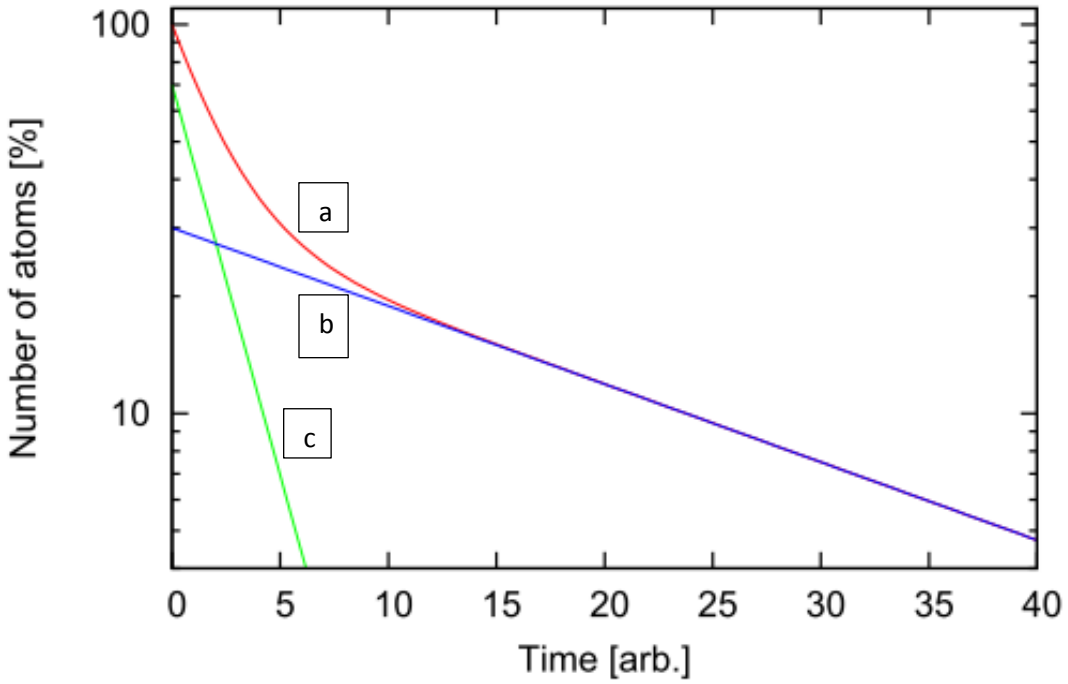
2- وفي الحالة ،(أي عندما يكون العمر النصفي اكثر من عمر الانسان مثلا) ، يمكن استخدام المعادلة (2-1) مباشرة . وذلك بقياس معدل العدات $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ وتحديد عدد النوى المشعة N من المعادلة (2-16) وذلك بوزن العنصر الذي يجب ان نعرف تركيبه الكيميائي بدقة اذا لم يكن نقيا .

3- اما بالنسبة للاعمار النصفية القصيرة جدا (التي تكون اقل من ثانية $t_{1/2} \ll 1\ sec$) فمن غير الممكن تسجيل معدلات الانحلالات المتعاقبة بالطريقة الاعتيادية وانما تستخدم تقنية اكثر دقة بحيث تسمح بالقياس الروتيني لاعمار النصف وهي ميزة موجودة في محلل الاطياف متعدد القنوات (MCA) Multichannel Analyzer والتي تعرف بمتعدد القياس (MSC) multiscaling .

2-6 مزيج من عينات مشعة Mixture of Radioactive Samples :

اذا كانت لدينا عينة تتكون من نظيرين مشعين عمراهما النصفيان مختلفان بعضهما عن بعض بحيث نستطيع تمييزها عند القياس . وان انحلال كل نظير ليس له علاقة بانحلال النظير الاخر .

وليكن على سبيل المثال مزيجا من $Cu^{64}(12.7\ h)$ و $Cu^{61}(3.4\ h)$ او النظيران $^{108}Ag\ (2.3\ min)$ و $^{110}Ag\ (24\ sec)$ اللذان يمكن الحصول عليهما من تشعيع صفيحة من الفضة الطبيعية بواسطة النيترونات . ان عمر النصف لهذين النظيرين مناسب جدا لاستخدامها ضمن الفترة الزمنية المخصصة لتجارب الفيزياء النووية وان الطريقة المتبعة لتحديد اعمار النصف او لتحديد الفاعلية لكل نظير هي على وفق المبين في الشكل (2-2) حيث المنحني a يمثل الفاعلية الكلية لكلا النظيرين مرسومة على ورق نصف لوغارتيمي . وفي بداية الزمن نلاحظ ان المنحني مقعر نحو الاعلى ذلك لان النظير قصير العمر short-lived isotope وينحل اسرع نسبيا من النظير طويل العمر long-lived isotope وبعد مرور فترة زمنية طويلة ، نجد أن النظير طويل العمر هو الذي سيبقى فقط وسيكون المنحني على شكل خط مستقيم ومن الميلان يمكن حساب ثابت الانحلال وعمر النصف للنظير طويل العمر .



شكل (2-2)

اما كيف نحسب العمر النصفي القصير فيتم بتمديد الخط المستقيم b الى الخلف نحو نقطة الاصل حتى يتقاطع مع المحور الشاقولي وتمثل نقطة الفاعلية الابتدائية للنظير الطويل العمر ، وبعد ذلك نأخذ الفرق بين

المنحني a والخط المستقيم b لعدد من النقاط المختلفة . وعند رسم هذه الفروق على المقياس نفسة على الخط المستقيم c الذي يمثل انحلال النظير قصير العمر ومنه يمكن الحصول على ثابت الانحلال والعمر النصفي ان نقطة تقاطع الخطين المستقيمين على محور الشاقولي تعطينا المعدل الابتدائي للعدات لكل نظير.

7-2 انتاج نظائر مشعة من انحلال النواة الام

Production of Radioactive isotopes by a Decaying parent :

في العديد من الحالات التي يمكن مواجهتها في عملية انحلال النشاط الاشعاعي ان النواة parent nucleus الام تنحل الى نواة وليدة daughter nucleus والتي تكون بدورها ذات نشاط اشعاعي ايضا وتنحل الى نواة حفيدة grand daughter وهكذا يكون من الممكن الحصول على سلسلة من الانحلالات ذات النشاط الاشعاعي .

ولنفرض انه يوجد لدينا منذ البداية N_o من نوى الام عند بداية الزمن $t = 0$ وانه لايوجد نوى لنواتج الانحلال decay product اصلا وان كل نواة منحلة تنتج نواة وليدة واحدة . وعلى هذا فان

$$N_1(t = 0) = N_o$$

$$N_2(t = 0) = N_3(t = 0) = 0 \quad \text{.....(2-18)}$$

وبعد مرور فترة زمنية تبدأ النواة الام بالانحلال ويقل عددها حسب قانون الانحلال .

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad \text{.....(2-19)}$$

اما النوى الوليدة فيزداد عددها نتيجة لانحلالها هي ايضا وعليه فان :

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad \text{.....(2-20)}$$

اما النوى الحفيدة فيزداد عددها باستمرار لانها نوى مستقرة وغير مشعة ، لذا فان

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad \text{.....(2-21)}$$

وحل هذه المعادلات التفاضلية اخذين بالحسبان الشروط الابتدائية وهي عند الزمن $t = 0$ فان $N_1 = N$

$N_{2=}N_3 = 0$.

بالنسبة للمعادلة (2-19) يمكن الحصول على عدد نوى الام N_1 من التكامل المباشر لها

$$N_1(t) = N_o e^{\lambda_1 t} \quad \text{.....(2-22)}$$

كما يمكن الحصول على عدد النوى الوليدة N_2 من المعادلتين (2-20) و (2-22)

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_o e^{-\lambda_1 t} \quad \text{.....(2-23)}$$

وهذه هي معادلة تفاضلية تتكون من حل عام للمعادلة المتجانسة . والحل بالنسبة الى N_2 كدالة للزمن سيكون على الشكل التالي :

$$N_2 = N_o\left(c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t}\right) \quad \text{.....(2-24)}$$

ولتحديد قيم المعاملين c_1 و c_2 فاننا نعوض N_2 والمشتقة $\frac{dN_2}{dt}$ من المعادلة (2-24) في المعادلة (2-23) وبتطبيق الشرط الابتدائي نحصل على :

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad , \quad c_2 = -c_1 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

ونعوض عن هذه القيم في المعادلة (2-24) فنحصل على عدد النوى الوليدة كدالة للزمن .

$$N_2(t) = N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \quad \text{.....(2-25)}$$

اما بالنسبة للفاعلية الاشعاعية للنوى الوليدة فهي

$$A_2(t) = \lambda_2 N_2 = (N_o \lambda_1)\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \quad \text{.....(2-26)}$$

Dr.Malik

وعلى المنوال نفسه يمكن ان نحصل على عدد النوى الحفيدة كدالة للزمن وعلى وفق الاتي :

$$N_3(t) = N_o \frac{\lambda_1-\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}\left(\frac{1-e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1} - \frac{1-e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2}\right) \quad \text{.....(2-27)}$$

ان المعادلة (2-25) هي معادلة عامة يمكن بواسطتها حساب عدد النوى الوليدة في اية فترة زمنية بعد البدء في انحلال النواة الام ، كما انها لاتبين كيف تتغير N_2 بالنسبة لحالات خاصة : وهي عندما يكون عمر النواة الام اقل او اكبر من عمر النوى الوليدة . بعض الحالات المهمة من الناحية التطبيقية :

1- اذا كان عمر النواة الام قصيرا بالموازنة مع عمر النواة الوليدة أي عندما يكون $t_1 \ll t_2$ أي عند $\lambda_1 \gg \lambda_2$ فان هذه الحالة تعني ان النواة الام تنحل بسرعة في حين تزداد فاعلية النواة الوليدة حتى تصل نهايتها العظمى وبعد ذلك تبدأ بالانحلال حسب قانون الانحلال الاسي . وبعد مرور فترة زمنية طويلة الى درجة بحيث تصبح $e^{-\lambda_1 t}$ صغيرة جدا يمكن اهمالها $\left(e^{-\lambda_1 t} \ll e^{-\lambda_2 t}\right)$ بالمقارنة مع $e^{-\lambda_2 t}$ فان المعادلة (2-25) تاخذ الشكل الاتي :

$$N_2(t) = N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_1-\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \quad \text{.....(2-28)}$$

وهذا يعني ان انحلال النواة الوليدة ، بعد فترة طويلة نسبيا يتحدد فقط بنصف عمرها t_2 .

2- اذا كانت النواة الام طويلة العمر بالمقارنة مع النواة الوليدة أي عندما يكون $t_1 \gg t_2$ أي ان $\lambda_1 \ll \lambda_2$ في هذه الحالة $e^{-\lambda_2 t} \cong 0$ والمعادلة (2-25) تصبح بالشكل التالي :

$$N_2(t) = N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_1-\lambda_2} e^{-\lambda_1 t} \quad \text{.....(2-29)}$$

وهذا يعني ان انحلال النواة الوليدة بعد مرور فترة زمنية طويلة يتحدد بالعمر النصفي للنواة الام t_1 .

3- التوازن العابر (المرحلي ، الانتقالي)

اذا كان عمر النواة الام طويلا ولكن ليس طويلا جدا فيمكن استخدام المعادلة (2-29) للحصول على العلاقة بين عدد النوى الوليدة الى عدد نوى الام ، كالاتي :

$$N_2 = N_o e^{-\lambda_1 t} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Dr.Malik

وحيث ان $N_1 = N_o e^{-\lambda_1 t}$ فان

$$N_2 = N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-30)$$

اما بالنسبة للفاعلية فتتكون على وفق الاتي :

$$\frac{\lambda_2 N_2}{\lambda_1 N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-31)$$

أي ان

$$\frac{Activity\ of\ 2}{Activity\ of\ 1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-32)$$

وتسمى هذه الحالة بالتوازن العابر (المرحلي) .

4-التوازن القرني (المثالي)

هذا النوع من التوازن بين الفاعلية الاشعاعية للنوى الام والنوى الوليدة يمكن ان يحدث في لحظة زمنية معينة لا يمكن ان يتكرر التوازن قبلها وبعدها على الاطلاق ولهذا سمي بالقرني ، أي كما لو انه يحدث مرة في القرن وهو بالطبع توازن مثالي ايضا حيث تكون فاعلية النوى الام مساوية الى فاعلية النوى الوليدة وهي في قيمتها العظمى . وباستخدام المعادلة (2-32) بالنسبة للتوازن العابر وعندما يكون $\lambda_1 \ll \lambda_2$ أي ان $\lambda_2 - \lambda_2 \cong \lambda_2$ فان المعادلة المذكورة تتحول الى الشكل الاتي :

$$\frac{Activity\ of\ 2}{Activity\ of\ 1} = 1$$

$$Activity\ of\ 2 = Activity\ of\ 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-33)$$

Dr.Malik

التوازن المثالي او القرني يحدث في لحظة زمنية عندما تكون فاعلية النوى الوليدة في قيمتها العظمى والزمن يسمى بالزمن الاعظم t_{max} وان تحديد هذا الزمن مهم جدا عندما نريد ان نحصل على نظائر مشعة ذات فعالية اشعاعية عظمى ويمكن استخدامها في العديد من المجالات .

2-8 زمن اعظم فعالية لنوى وليدة منتجة

ان عدد النوى الوليدة N_2 ، حسب المعادلة (2-25) يساوي صفرا في بداية الزمن $t = 0$ وعندما $t = \infty$ حيث تكون جميع النوى الام والنوى الوليدة قد انحلت . لذا نجد في فترة زمنية وسطية او مرحلية t_{max} ان النوى الوليدة وبالتالي فعاليتها تمر بقيمتها العظمى أي عند الزمن t_{max} فان

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 \quad \text{.....(2-34)}$$

وباجراء التفاضل على المعادلة (2-25) بالنسبة للزمن يمكن الحصول على الزمن الاعظم t_{max} الذي يكون فيه تركيز N_2 اقصى مايمكن وعلى وفق الاتي :

$$N_2 = N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} \div (-\lambda_2 e^{-\lambda_2 t})\right) = 0$$

وبما ان $N_o \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$ لايمكن ان تساوي صفرا ، اذن المقادير الموجودة داخل القوسين يجب ان تساوي صفرا ، وبهدا فان

$$-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t_{max}} \div \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_{max}} = 0$$

ومنه يمكن الحصول على الزمن الاعظم الدي يساوي :

$$t_{max} = \frac{ln(\lambda_2/\lambda_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{.....(2-35)}$$

كما يمكن كتابة هذه المعادلة بالشكل الاتي اذا علمنا الاعمار النصفية وليس ثوابت الانحلال .

Dr.Malik

$$t_{max} = \tau_2 \frac{t_1}{t_1 - t_2} \ln \frac{t_1}{t_2} \quad \text{.....(2-36)}$$

حيث τ_2 هو معدل عمر النوى الوليدة t_2, t_1 اعمار النصف للنوى الام والنوى الوليدة على التوالي ،وهذه النتيجة المهمة تبين ان الزمن الاعظم هو كمية موجبة وحقيقية سواء كان عمر النصف للنوى الام اكبر او اقل من العمر النصفي للنوى الوليدة $t_1 < t_2 , t_1 > t_2$ وعندما نريد ان نحسب الفاعلية العظمى للنوى الوليدة يجب ان نحسب اولا الزمن الذي تصل به الفاعلية قيمتها العظمى من احدى المعادلتين (2-35) او (2-36) .

مثال محلول

عينه من البزموث النقي ^{210}Bi ذات فعالية ابتدائية $10\mu\, Ci$ عمرها النصفي 5 days انحلت الى بولونيوم ^{210}Po (عمره النصفي 138 days) متى تصل الفاعلية قيمتها العظمى ؟ احسب تلك القيمة ؟

$$^{210}_{83}Bi \rightarrow {}^{210}_{84}Po + \bar{\beta}$$

الحل:

الفاعلية الاشعاعية للنوى الوليدة ^{210}Po قيمتها العظمى عند الزمن t_{max} الذي يمكن حسابه من المعادلة (2-35) او من المعادلة (2-36) وعلى وفق الاتي :

$$t_{max} = \frac{\ln(\lambda_2/\lambda_1)}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{0.693}{5} = 0.138\, d^{-1}$$

$$\lambda_2 = \frac{0.693}{138} = 0.005\, d^{-1}$$

$$\therefore t_{max} = \frac{\ln \frac{-0.005}{0.138}}{0.005 - 0.138} = \frac{-3.318}{-0.133} = 24.95\, day = 2.15 \times 10^6\, sec.$$

ويمكن حساب الفاعلية الاشعاعية من المعادلة (2-26)

$$A_{2max} = (N_o\lambda_1)\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t_{max}} - e^{-\lambda_2 t_{max}}\right)$$

$$A_{max} = 10\ mCi\ \frac{0.005}{0.005 - 0.138}\left(e^{-0.138\ X\ 24.95} - e^{-0.005\ X\ 24.96}\right)$$

$$A_{max} = 0.2\ m\ Ci$$

ان هذه النتائج تعني ان الفاعلية تصل قيمتها العظمى عند الزمن وان قيمتها هي ملي كيوري ، ومن الممكن حساب من المعادلة .

2-9 الانحلال بطرق متعددة :

غالبا ما يحدث ان نوى ابتدائية معينة يمكن ان تنحل بطريقتين مختلفتين او اكثر وتنتهي بنوى نهائية مختلفة ، وليكن على سبيل المثال بانحلال الفا وانحلال بيتا ، في هذه الحالة فان احتمالة الانحلال ستزداد بزيادة عدد تفرعات الانحلال.

$$dN_o = dN_\alpha + dN_\beta$$

وبما ان أي تغير في عدد النوى المشعة يتناسب مع العدد الابتدائي والفترة الزمنية المنصرمة فان :

$$-dN_o = \lambda_o N_o dt + \lambda_\beta N_o dt = (\lambda_\alpha + \lambda_\beta)N_o dt$$

وكما مر سابقا فان حل هذه المعادلة التفاضلية بعطنا النتيجة الاتية :

$$N = N_o e^{(\lambda_\alpha + \lambda_\beta)t} = N_o e^{-\lambda_{tot} t} \quad \text{.....(2-37)}$$

حيث λ_{tot} هو ثابت الانحلال الكلي و يساوي

$$\lambda_{tot} = \lambda_\alpha + \lambda_\beta \quad \text{.....(2-38)}$$

وان العمر النصفي العملي للنوى الام والاعمار النصفية الجزئية لكل تفرع هي :

Dr.Malik

$$\left.\begin{aligned} t_{tot} &= \frac{0.693}{\lambda_{tot}} \\ t_{\alpha} &= \frac{0.693}{\lambda_{\alpha}} \\ t_{\beta} &= \frac{0.693}{\lambda_{\beta}} \end{aligned}\right\} \text{او} \quad \text{.....(2-39)}$$

وان الفاعلية الكلية للنوى الام هي :

$$\left(-\frac{dN}{dt}\right)_t = \left(-\frac{dN}{dt}\right)_{\alpha} + \left(-\frac{dN}{dt}\right)_{\beta}$$

$$A_{tot} = \lambda_{\alpha} N_o e^{-\lambda_{tot} t} + \lambda_{\beta} N_o e^{-\lambda_{tot} t}$$

$$A_{tot} = (\lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta}) N_o e^{-\lambda_{tot} t} = \lambda_{tot} N$$

$$A_{tot} = \lambda_{tot} N \quad \text{.....(2-40)}$$

ان النوى تتحل حسب قانون الانحلال المعادلة (2-37) وان الفاعلية تتحل بثابت انحلال λ_{tot} . ان ما نلاحظة عندما نقيس النشاط الاشعاعي للعينة هو النشاط الكلي ولا يمكن ان نلاحظ مباشرة الانحلال خلال الفروع ؟ الفا وبيتا مثلا ، ذلك لانه لا يمكننا ايقاف احد انماط الانحلال لكي نتمكن من ملاحظة النمط الاخر ان نسبة التفرع بالنسبة لانحلال الفا هي $\frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_{tot}}$ ، ونسبة التفرع بالنسبة لانحلال بيتا هي $\frac{\lambda_{\beta}}{\lambda_{tot}}$ ولهذا فان عدد النوى الام والنوى الوليدة للفرعين الفا وبيتا يمكن الحصول عليها من المعادلات الاتية :

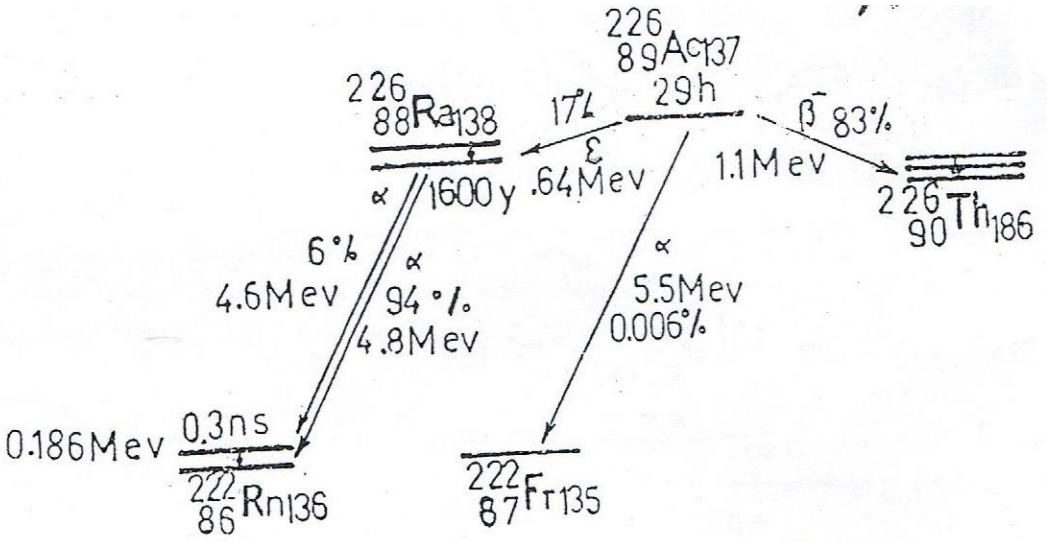
$$N_1 = N_o e^{-\lambda_{tot} t}$$

$$N_{2,\alpha} = \left(\frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_{tot}}\right) N_o \left(1 - e^{-\lambda_{tot} t}\right)$$

$$N_{2,\beta} = \left(\frac{\lambda_{\beta}}{\lambda_{tot}}\right) N_o \left(1 - e^{-\lambda_{tot} t}\right) \quad \text{.....(2-41)}$$

مثال محلول :

استخدام المعلومات المعطاة في الشكل . احسب (بالنسبة الى نواة ^{226}Ac. التي تتحل بثلاث طرق ($\varepsilon, \alpha, \beta$) ، ثابت الانحلال وعمر النصف لكل فرع من الفروع الثلاثة . ثم احسب ثابت الانحلال الكلي λ_{tot} . ثم وازن نتيجة الحساب مع ثابت الانحلال المعطى في الشكل .



الحل :

بما ان نواة ^{226}Ac تنحل بثلاث طرق وبنسب مختلفة ، لهذا فان احتمالية الانحلال في كل فرع ستكون حسب نسبة الانحلال في ذلك الفرع . وهكذا فان .

$$\lambda_\beta = 0.83\lambda_{tot} = 0.83\ X\ 6.6\ X\ 10^{-6} = 5.5\ X\ 10^{-6}\ s^{-1}$$

$$\lambda_\varepsilon = 0.17\lambda_{tot} = 0.17\ X\ 6.6\ X\ 10^{-6} = 1.1\ X\ 10^{-6}\ s^{-1}$$

$$\lambda_\alpha = 6\ X\ 10^{-5}\lambda_{tot} = 6\ X\ 10^{-5}\ X\ 6.6\ X\ 10^{-6} = 4.0\ X\ 10^{-10}\ s^{-1}$$

وبما ان ثابت الانحلال الكلي يساوي مجموع ثوابت الانحلال لجميع الفروع ، فان

$$\lambda_{tot} = \lambda_\beta + \lambda_\varepsilon + \lambda_\alpha$$

$$= 5.5\ X\ 10^{-6} + 1.1\ X\ 10^{-6} + 4\ X\ 10^{-10}$$

وحيث $4\ X\ 10^{-10}$ مقدار صغير بالموازنة مع بقية المقادير ، لذا يمكن اهمالة ، وبهذا سيكون ، ثابت الانحلال الكلي عمليا مساويا لمجموع ثابتي الانحلال للفرعين β ، ε فقط .

$$\lambda_{tot} = 5.5\ X\ 10^{-6} + 1.1\ X\ 10^{-6}$$

الذي يساوي نفس القيمة المعطاة في الشكل .

اما اعمار النصف لكل فرع من الفروع فيمكن حسابها وعلى وفق الاتي :

$$t_{\frac{1}{2},\beta} = \frac{0.693}{\lambda_\beta} = \frac{0.693}{5.5\ X\ 10^{-6}} = 1.3\ X\ 10^5\ sec = 35\ h$$

$$t_{\frac{1}{2},\varepsilon} = \frac{0.693}{\lambda_\varepsilon} = \frac{0.693}{1.1\ X\ 10^{-6}} = 6.1\ X\ 10^5\ sec = 170\ h$$

$$t_{\frac{1}{2},\alpha} = \frac{0.693}{\lambda_\alpha} = \frac{0.693}{4.0\ X\ 10^{-10}} = 1.7\ X\ 10^9\ sec = 55\ year$$

وبهذا فان فرع الفا سيكون عمره النصفي طويلا جدا أي احتمالية الانحلال فيه صغيرة جدا يكن اهمالها .

3-10 عرض (اتساع) الحالات المنحلة :

اذا كانت نواة في حالة تهيج او اثارة فيجب عليها ان تتخلص من طاقتها الفائضة بالانحلال . ومع ذلك فمن غير الممكن معرفة متى سيحدث الانحلال فعلا . وعليه فان هناك عدم دقة في تعيين الزمن المرتبط بوجود حالة الاثارة وبالاضافة الى ذلك ، فان معدل عمر (τ) مستوى الاثارة المحدود يسبب لادقة في طاقة المستوى ولا يسمح بقياسه بدقة متناهية، حسب مبدا انعدام الدقة لهايزنبرك وعليه فالطاقة ستنتشر spread وهو مايسمى بالعرض او الاتساع width والذي يرمز له ب(كاما الكبيرة) Γ .ان عرض او تساع مستوى الاثارة هو وسيلة للاشارة الى احتمالية الانتقال التي تتناسب عكسيا مع العمر او العمر النصفي .

$$\tau = \frac{\int_0^\infty te^{-\lambda t}dt}{\int_0^\infty e^{-\lambda}dt} = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{0.693} \quad \text{.....(2-42)}$$

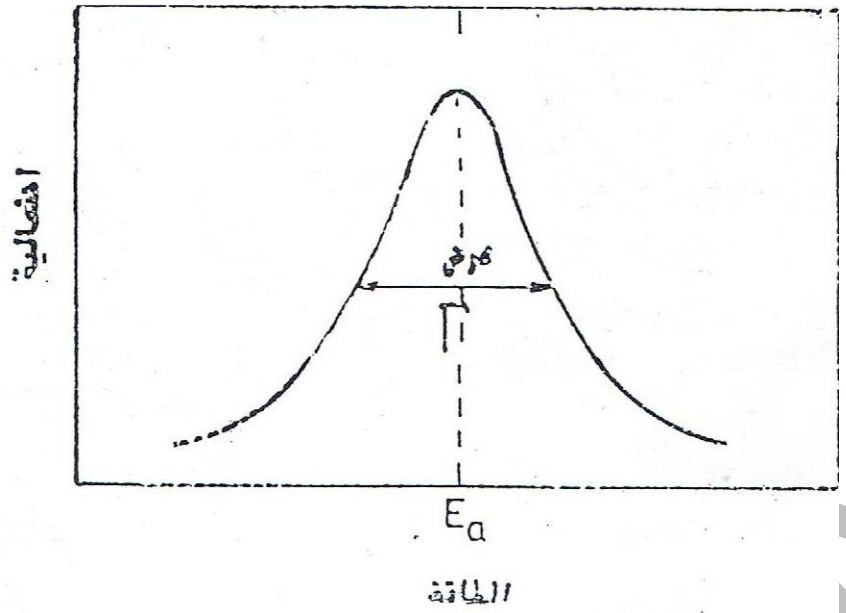
حيث τ , $t_{1/2}$, λ هي معدل العمر والعمر النصفي واحتمالية الانتقال على التوالي .

ان احتمالية العثور على حالة منحلة بطاقة معينة E تتناسب مع مربع القيمة المطلقة للسعة

$$|A(E)|^2 = \frac{1}{4\pi^2}\frac{1}{(E-Ea)^2+(\Gamma/2)^2} \quad \text{.....(2-43)}$$

حيث Ea هي طاقة الذروة Γ هي عرض مستوى الاثارة على النحو المبين في الشكل .

Dr.Malik



ان عرض المستوى يمكن ان يحسب من العلاقة الاتية :

$$\Gamma = \hbar\lambda = \frac{\hbar}{\tau} \quad \text{.....(2-44)}$$

حيث

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.62\ X\ 10^{-34}\ J.sec}{2\pi} = 1.054\ X\ 10^{-34}\ J.sec$$

عادة ما يحسب العرض بوحدات الالكترون فولت ، لذا فان

$$\Gamma(eV) = \frac{1.054\ X\ 10^{-34}\ J.sec}{1.6\ X\ 10^{-19}\ J.\tau(\text{sec})} = \frac{66\ X\ 10^{-17}}{\tau(\text{sec})} \quad \text{.....(2-45)}$$

او ان

$$\Gamma(eV) = \frac{46\ X\ 10^{-17}}{t_{1/2}(\text{sec})} \quad \text{.....(2-46)}$$

مثال محلول:

احسب معدل عمر والعمر النصفي لمستوى اثارة عرضه 1MeV؟

الحل : لحساب معدل العمر τ نستخدم المعادلة (2-45) مباشرة :

$$\Gamma(eV) = \frac{66\ X\ 10^{-17}}{\tau(\text{sec})} = \frac{0.66\ X\ 10^{-15}}{\tau(\text{sec})}$$

وبما ان $1MeV = 10^6\ eV$, فان معدل العمر يساوي

$$10^6 = \frac{0.66\ X\ 10^{-15}}{\tau}$$

$$\therefore \tau = 6.6\ X\ 10^{-22}\ sec$$

اما في حالة حساب العمر النصفي فنستخدم المعادلة (46-2) :

$$\Gamma(eV) = \frac{46\ X\ 10^{-17}}{t_{1/2}(\text{sec})} = \frac{0.46\ X\ 10^{-15}}{t_{1/2}}$$

$$10^6 = \frac{0.46\ X\ 10^{-15}}{t_{1/2}}$$

$$\therefore t_{1/2} = 4.6\ X\ 10^{-22}\ sec$$

لاحظ الاختلاف الصغير بين معدل العمر و العمر النصفي (كلاهما بنفس المرتبة 10^{-22} ثانية)

2-11 تحديد التاريخ Dating :

قد يبدو ان لاعلاقة بين الفيزياء النووية والعديد من المجلات الاخرى كالعلوم الانسانية كعلم التاريخ وعلم الاثار والانثروبولوجي وهو العلم الذي يبحث في اصل الكائنات الحية والمراحل التي مرت بها اثناء تطورها. غير ان هناك العديد من الامثلة تبين انه يمكن استخدام الفيزياء النووية في تحديد تاريخ عمر تكوين المعادن في الارض اوفي الشهب والنيازك او على سطح القمر . وكذلك يمكن الكشف عن تاريخ حضارات اندثرت منذ الالاف السنين او حتى يمكن تحديد تاريخ ظهور اول انسان عل سطح الارض وغيرها الكثير . بالنسبة لتحديد عمر المعادن فلا يمكن استخدام قانون الانحلال للنشاط الاشعاعي لانه من الصعب جدا تحديد عدد النوى N_o التي كانت موجودة عند الزمن t_o والتي قد تكون خارج الحقبات الزمنية الجيولوجية $(\sim 10^9 y)$.

Dr.Malik

والطريقة البديلة هي حساب النسبة بين عدد النوى الام $N_P(t_1)$ الى النوى الوليدة $N_D(t_1)$ التي يمكن قياسها الان أي عند الزمن (t_1) في الوقت الحاضر . فلو فرضنا ان عدد النوى الوليدة $N_D(t_o)$ في بداية الزمن (t_o) غير موجود على الاطلاق فان عدد النوى الكلي الان يساوي عدد نوى الام فقط $N_P(t_o)$ في بداية الزمن وعليه فان .

$$N_D(t_1) + N_P(t_1) = N_P(t_o) \quad \text{.....(2-47)}$$

وحسب قانون انحلال النشاط الاشعاعي فان

$$N_P(t_1) = N_P(t_o)e^{-\lambda(t_1-t_o)} = N_P(t_0)e^{-\lambda\Delta t} \quad \text{.....(2-48)}$$

حيث Δt هو عمر العينة ويمكن ايجاده من العلاقة الاتية :

$$\Delta t = t_1 - t_0 = \frac{1}{\lambda}\ln\frac{N_P(t_o)}{N_P(t_1)} \quad \text{.....(2-49)}$$

$$\Delta t = \frac{1}{\lambda}\ln\left[1 + \frac{N_D(t_1)}{N_P(t_1)}\right] \quad \text{.....(2-50)}$$

المعادلة (2-50) تبين عدم الحاجة الى معرفة عدد نوى الام $N_P(t_o)$ عند بداية الزمن $t = 0$. فاذا علمنا ثابت الانحلال λ (الذي يمكن قياسه مختبريا(كما مر سابقا) وكذلك النسبة الحالية $\frac{N_D(t_1)}{N_P(t_1)}$ التي يمكن معرفتها بالطرق الكيميائية ، فان عمر العينة Δt يمكن ايجاده مباشرة بدقة تحددها معرفتنا مقدار الدقة عند قياس λ وكل من N_D و N_P . ان احدث تقدير لعمر الارض الذي تم التوصل اليه بهذه الطريقة هو $4.5\ X\ 10^9 y$ وهذا يتفق تماما مع القياسات بطرق مختلفة . فعلى سبيل المثال يمكن استخدام هذه الطريقة عند انحلال ^{235}U الى ^{207}Pb او انحلال ^{238}U الى ^{206}Pb او انحلال ^{40}K الى ^{40}Ar . لتحديد الاعمار التي تتراوح بين 50,000 yr الى عدة ملايين السنين ويمكن استخدام طريقة قياس عنصر الاركون . وتستند هذه الطريقة على حقيقة ان نظير البوتاسيوم المشع ^{40}K (عمره النصفي يساوي $1.277\ X\ 10^9\ yr$) و يتبلور في المواد ذات الاصل البركاني ثم يبدا بالانحلال الى نظير الاركون المستقر ^{40}Ar . ولهذه الطريقة اهمية خاصة عندة محاولة تحديد تاريخ ظهور اول انسان على وجه الارض . اما تحديد تاريخ عينات من مادة عضوية حديثة العهد نسبيا ، فان الطريقة المتبعة لمعرفة ذلك فهي

Dr.Malik

استخدام نظيرة الكاربون المشع ^{14}C والتي تتم على الشكل الاتي .ان CO_2 الذي يمتص من قبل المادة العضوية ويتكون من النظير المستقر ^{12}C (98.89%) مع مزيج قليل من النظير المستقر الثاني ^{13}C (1.11%) . اما النظير المشع ^{14}C فيتكون في الجو باستمرار نتيجة قصف النتروجين الموجود في الجو بالاشعة الكونية . وعند قيام النباتات بامتصاص ثاني اوكسيد الكربون من الجو يترسب نظير ^{14}C في النباتات وينتقل الى الحيوانات عندما تاكل تلك النبتات . ان معدل انتاج ^{14}C هو تقريبا ثابت لالاف السنين ، المادة العضوية الحية تصل حالة التوازن بين الكاربون فيها والكاربون الجوي بحدود ذرة واحدة من ^{14}C لكل 10^{12} ذرة من ^{12}C . ان عمر النصف لنظير ^{14}C هو 5730 سنة ، ولهذ فان لكل غرام من الكاربون يعطي فاعليه بحوالي 15 dis/min . وعند موت الكائن الحي فانه يخرج من حالة التوازن مع الكاربون الجوي و يتوقف عن امتصاص ^{14}C جديد وان محتوياته السابقة ^{14}C من تبدا بالنقصان حسب قانون انحلال النشاط الاشعاعي . وبهذا يمكننا تحديد عمر العينات من قياس الفاعلية النوعية (أي الفاعلية لكل غرام) لمحتوياتها من الكاربون وبدقة تصل الى خمسين سنة تقريبا. ومن الممكن الحصول على دقة اكبر عند تحديد تاريخ النواتج البايولوجية ، وذلك بالكشف المباشر عن ذرات الكاربون المشع ^{14}C حيث يتم تعجيل الايونات الجزيئية التي تتكون من ^{14}C في مجالات كهربائية ومغناطيسية (كما في حالة المطياف الكتلي) ثم تكون بطيئة عند مرورها خلال طبقات رقيقة من المادة البايولوجية . ويمكن لعملية الفرز هذه القياس الى حد ثلاث ذرات من بين من ذرات ^{14}C من 10^{16} من ذرات ^{12}C .

مثال محلول

غرامان من الكاربون في القطعة خشبية وجدت في معبد قديم ، حللت ووجد ان لها فاعلية مقدارها 20dis/min . ماعمر القطعة الخشبية اذا علمت ان الفاعلية النوعية للنظير المشع ^{14}C في الكاربون ثابتة وتساوي 15 dis/min، علما بان عمر النصف لنظير ^{14}C هو 5730 سنة .

الحل

الفاعلية النوعية هي الفاعلية مقسومة على الكتلة . وعليه فالفاعلية النوعية في الوقت الحاضر هي

$$Specific\ activity = \frac{Activity\ (dis/min)}{Weight\ (gm)}$$

$$Specific\ activity = \frac{20\ dis/min}{2\ g} 10 \frac{dis}{min}/g$$

وبتطبيق قانون الانحلال والمعادلة (2-6) وحيث ان الفاعلية النوعية الابتدائية هي 15 dis/min/g والفاعلية في الوقت الحاضر تساوي 10 dis/min/g يمكن ايجاد الزمن t .

$$A = A_o e^{-\lambda t}$$

$$10 = 15\ X\ e^{-\lambda t}$$

والان نحسب ثابت الانحلال من عمر النصف الذي يساوي 5730 سنة

$$\lambda = \frac{0.693}{5730} = 1.209\ X\ 10^{-4}\ sec^{-1}$$

$$\frac{10}{15} = e^{-1.209\ X\ 10^{-4}\ X\ t}$$

وبهذا يكون عمر المعبد الخشبي القديم

$$t = 3353\ years$$

2-12 انتاج (حصيلة) نظير مشع بطريقة القصف النووي :

لو فرضنا اننا قمنا بقصف عينة (او مادة معينة او هدف يتكون من نوى مستقرة) بالنيترونات من مفاعل نووي او بجسيمات مشحونة (مثل البروتونات ، الديترونات او جسيمات الفا ...الخ) من معجل كالسايكلترون مثلا الذي يستخدم بكثرة في مثل هذه الاغراض . وكنتيجة للقصف حصلنا على نوى جديدة مشعة بمعدل انتاج ثابت مقداره R . وهذا يعني الاتي :

1- ان هناك نتاجا ثابتا للمادة المشعة الجديدة يسمى بالحصيلة التي تمثل معدل نتاج فاعلية جديدة و يمكن حسابه من العلاقة الاتية :

$$R = N_o \sigma \phi \quad or \quad R = N_o \sigma I \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-51)$$

Dr. Malik

حيث N_o عدد ذرات (نوى) الهدف ، σ المقطع العرضي للتفاعل (الذي يمثل احتمالية تفاعل جسيمة واحدة مع نواة هدف واحدة و ϕ هو فيض النترونات في حالة استخدام المفاعل النووي ، و I هو تيار الجسيمات المشحونة عند استخدام السايكلترون . ان الحصيلة هي الميلان الابتدائي لمنحني . النمو للفاعلية الاشعاعية المتكونة .

2-ان المادة الجديدة نفسها مشعة وتنحل حسب قانون الانحلال

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

3-ان معدل الانتاج الصافي للنوى المشعة يساوي معدل الانتاج مطروحا منه معدل الانحلال .

صافي معدل الانتاج = معدل الانتاج – معدل الانحلال

أي ان

$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N \quad \text{.....(2-52)}$$

ومن الممكن حل هذه المعادلة التفاضلية على وفق الاتي :

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = R$$

وبضرب طرفي المعادلة بالمقدار $e^{+\lambda t}$ نحصل على

$$e^{+\lambda t}\ \frac{dN}{dt} + \lambda N e^{+\lambda t} = R e^{+\lambda t}$$

ويمكن كتابة الجانب الايسر من المعادلة بالشكل الاتي واخذ التكامل له

$$\int \frac{d}{dt}\left(N e^{\lambda t}\right) = \int R e^{\lambda t}$$

حيث c هو ثابت التكامل ويجب تحديد قيمته من الشروط الابتدائية . حيث (t=0) في بداية الزمن أي بداية التشعيع ، كان عدد النوى المشعة صفرا (N=0) وعلى هذا فان

Dr.Malik

$$c = -\frac{R}{N}$$

وعند التعويض عن قيمة c بالمعادلة السابقة نحصل على

$$N = \frac{R}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right) \quad \text{.....(2-53)}$$

والتي يمكن كتابتها بالشكل الاتي :

$$N = N_o\left(1 - e^{-\lambda t}\right) \quad \text{.....(2-54)}$$

حيث $N_o = \frac{R}{\lambda}$ هو اعلى قيمة يمكن الحصول عليها من النوى المشعة التي تكونت نتيجة التشعيع .

اما الفاعلية الاشعاعية الناتجة فيمكن حسابها من المعادلة (2-53) وعلى وفق الاتي :

$$A(t) = \lambda N = R\left(1 - e^{-\lambda t}\right) \quad \text{.....(2-55)}$$

التي تمثل قوة strength المصدر المشع مباشرة بعد الانتهاء من انتاجه في المفاعل النووي او بواسطة المعجلات .

مما تقدم ومن الحسابات التي يمكن ان نقوم بها بالنسبة للتشعيع لفترات زمنية مختلفة ، المعادلة (2-55) يمكن القول اننا نستطيع انتاج 75% من الفاعلية العظمى $N_o = \frac{R}{\lambda}$ عند التشعيع لمدة تساوي عمري نصف $(2t_{1/2})$ وانتاج نسبة 87.5% عند التشعيع لمدة ثلاثة اعمار نصفية $(3t_{1/2})$. اما التشعيع لاكثر من ذلك فانه لايزيد من الفاعلية الا بمقدار ثابت تقريبا وصغير جدا والواقع ، ان كلفة استخدام المفاعل او المعجل عادة تتناسب مباشرة مع زمن التشعيع اللازم للحصول على النشاط الاشعاعي المطلوب . وعليه فمن غير العملي ان تشعع عينة لاكثر من ضعفي او ثلاثة اضعاف العمر النصفي .

2-13 وحدات النشاط الاشعاعي :

ان التطور الكبير الذي حدث في النصف الثاني من القرن الحالي على وجه الخصوص في موضوع بناء

Dr.Malik

معجلات عديدة وذات قدرات عالية وكذلك الانتشار الواسع للمفاعلات النووية وانتشار الثقافة النووية في الكثير من مجالات الحياة . بالاضافة الى اختبارات الاسلحة النووية وحتى الى الاستخدام الفعلي لتلك الاسلحة علاوة على الكوارث النووية التي حدثت في العديد من البلدان واخرها، بالطبع ، حادثة جرنوبل عام 1986 . كل ذلك يتطلب معرفة دقيقة بطبيعة الاشعاع وتاثيراته المختلفة على الكائن الحي وعلى اجزاء حساسة منه وكذلك على البيئة . كما يتطلب استخدام طرق ووسائل دقيقة لقياسه وبالتالي وضع وحدات لتحديد تاثيراته البايولوجية وغير البايولوجية تتناسب والتطورات التي حدثت في مجال الاشعاع والوقاية منه واستخدامه في الاغراض السلمية وغير السلمية ولهذه الاسباب فان وحدات جديدة تظهر بين الحين والاخر بالاضافة الى الوحدات الاساس التي مازال معمول بها . وفي ادناه سنتطرق الى اهم الوحدات المستخدمة لقياس النشاط الاشعاعي بما في ذلك الوحدات الحديثة كما ستحاول التطرق اليها حسب استخداماتها العملية والتشخيصية .

الكيوري Curie (Ci) .

ان فاعلية مادة ناشطة اشعاعيا حددت مند البداية بوحدة سميت بالكيوري (Ci) والتي تعرف على انها كمية المادة المشعة التي تعطي $3.7\ X\ 10^{10}$ انحلال في الثانية وعليه فان الكيوري هي مقياس فقط لكمية (غرامات او كيلو غرامات) المادة المشعة وليست مقياسا لمعدل الانحلال ، و يعرف الكيوري على انه فاعلية غرام واحد من نظير الراديوم ^{226}Ra (عمره النصفي $t_{1/2} = 1620\ y$) ويمكن حساب الكيوري بعدد الانحلالات / ثانية وكما يلي :

$$Activity = \left(-\frac{dN}{dt}\right) = \lambda N$$

$$\lambda = \frac{0.693}{1620} = 1.36\ X\ 10^{-11}\ sec^{-1}$$

$$N = \frac{w(g)\ X\ N_A}{A} = \frac{1\ X\ 6.022\ X\ 10^{23}}{226} = 0.0266\ X\ 10^{23}\ atom/mole$$

$$A = 1.36\ X\ 10^{-11}\ X\ 0.0266\ X\ 10^{23} = 3.7\ X\ 10^{10}\ dis/sec$$

$$1Curie = 1Ci = 3.7\ X\ 10^{10}\ dis/sec \quad \text{.....(2-56)}$$

اما الوحدة الدولية فهي البيكرل حيث تساوي انحلال / ثانية لذا فان

$$1Bq = 1\ dis/sec$$

$$1Ci = 3.7\ X\ 10^{10}\ Bq$$

الفاعلية النوعية Specific Activity .

من الجدير بالملاحظة ان الكيوري ، على الرغم من استخدامها وحدة قياس الكمية ، الا انها لم تذكر أي شيء فيها يخص العلاقة بين كتلة المادة المشعة والفاعلية . ان هذه العلاقة تسمى بالفاعلية النوعية ويمكن اعطاؤها بدلالة وحدة انحلال / ثا/غرام .

$$Specific\ Activity = \frac{Activity}{weight} = \frac{N\lambda}{W} = \frac{\lambda N_A}{A}$$

$$S.A. = 6.022\ X\ 10^{23}\ X\ \frac{\lambda}{A}\ \ \frac{\frac{dis}{sec}}{g} \quad \text{.....(2-57)}$$

الفاعلية النوعية بوحدات الكيوري / غرام هي

$$S.A. = \frac{6.022\ X\ 10^{23}}{3.7\ X\ 10^{10}}\ X\ \frac{\lambda}{A} = 1.63\ X\ 10^{13}\ X\ \frac{\lambda}{A}\ Ci/g \quad \text{.....(2-58)}$$

$$S.A. = 1.63\ X\ 10^{13}\ X\ \frac{0.693}{A\ X\ t_{1/2}} = \frac{1.13\ X\ 10^{13}}{A\ X\ t_{1/2}}\ Ci/g \quad \text{.....(2-59)}$$

<u>مثال محلول:</u>

احسب الفاعلية النوعية لنظير الكبريث ^{35}S علما بان عمره النصفي يساوي 87 يوما ؟

<u>الحل :</u>

بما ان العمر النصفي لنظير الكبريت قد اعطي ، فاننا سوف نستخدم المعادلة (2-59) مباشرة للحصول على الفاعلية النوعية .

Dr.Malik

$$S.A. = \frac{1.13\ X\ 10^{13}}{A\ X\ t_{1/2}} = \frac{1.13\ X\ 10^{13}}{35\ X\ 87\ X\ 24\ X\ 3600} = 4.3\ X\ 10^{4}\ Ci/g$$

ملاحظة : عند حساب الفاعلية النوعية لانحتاج الى معرفة كتلة المادة المشعة لكننا عند حساب الفاعلية $A = \lambda N$ يجب ان نعرف عدد النوى المشعة او الكتلة . عند التعامل مع الاشعاع ويكون من الضروري التمييز بين جرعات وحدتين مهمتين هما :الوحدة المستخدمة عند التعرض للاشعاع (الرونتكون) والوحدة المستخدمة عند امتصاص الاشعاع (راد) .

***وحدة الرونتكون (R) Roentgen Unit :**

ان وحدة الرنتكون هي وحدة جرعة التعرض للاشعاع exposure dose التي كانت قد وضعت في الوقت الذي كانت الاشعة السينية واشعة كاما هي الاشعاعات الرئيسة المعروفة . اما الوحدات التي يفضل استخدامها في الوقت الحاضر فهي راد rad وريم rem . وتعرف الرنتكون على انه كمية الاشعاع الذي يمر في 1سم3 (الذي يقابل كتلة 0.001293 غرام) من الهواء الجاف عند درجة حرارة $0^{\circ}C$ وضغط 760mm زئبق ، وحدة واحدة من الشحنة الكهروستاتيكية $(e = 4.8\ X\ 10^{10} esu = 1.6\ X\ 10^{-19} C)$ (الموجبة او السالبة) لذا فان الرونتكون يساوي:

$$1R = \frac{1\ esu}{0.001293\ g} = \frac{1.6\ X\ 10^{-19}\ C}{4.8\ X\ 10^{-10}\ X\ 0.001293\ X\ 10^{-3}\ Kg} = 2.58\ X\ 10^{-4}\ C/Kg \quad \ldots\ldots(2\text{-}60)$$

ان احدى الخواص الشائعة للإشعاعات النووية هي قابليتها على تايين ionize أي اخراج الكترونات من الذرات التي تتفاعل معها . وان الشحنة الكهربائية الكلية Q المنتجة في كتلة m من الهواء تسمى بالتعرض للاشعاع exposure X لذا فان مقدار التعرض هو

$$X = \frac{Q}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2\text{-}61)$$

ويقاس بالوحدات الدولية بالكولوم / كغم . وعند التعامل مع مصادر اشعة كاما ، مثلا فمن المفيد حساب معدل التعرض للاشعاع على مسافات مختلفة (d) اذا علمنا فاعلية المصدر المشع A وذلك حسب العلاقة الاتية

Dr.Malik

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \Gamma \frac{A}{d^2} \quad \text{.....(2-62)}$$

حيث $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ هو معدل التعرض للاشعاع و Γ هو specific γ -rayconstant الثابت النوعي لاشعة كاما والذي يعتمد على طاقة وشدة اشعة كاما المنبعثة من المصدر المشع ووحدته هي رونتكن $\frac{\text{م}^2}{\text{ساعة}}$ كيوري $\frac{Rm^2}{hCi}$.

***جرعة الامتصاص (راد) Absorption Dose (rad) :**

وحدة الراد هي جرعة الاشعاع الممتص وتعد من الوحدات الاساس لقياس الطاقة الممتصة من قبل وحدة كتلة من النسيج وليس الهواء . ان وحدة راد تستخدم في التشعيع الخارجي باستخدام اشعة كاما او النيترونات او الجسيمات المشحونة بالاضافة الى استخدامها بالنسبة للترسيب الداخلي internally deposited للنظائر المشعة .

$$1rad = 100\frac{erg}{g} = 10^{-2}\ J/Kg \quad \text{.....(2-63)}$$

اما في وحدات الانحلالات في الثانية فان راد يساوي

$$1rad = 10^6\ dis/sec$$

$$1rad = \frac{1}{0.88} R\ (R \rightarrow roentgen)$$

ان الجرعة الممتصة بالوحدات الدولية si هي الكري Gray (Gy) . التي تساوي امتصاص طاقة مقدارها جول واحد من قبل كيلوغرامات من المادة الممتصة 1 J/Kg لذا فان

$$1Gy = 100\ rad \quad \text{.....(2-64)}$$

***ريم rem (roentgen equivalent man) :**

وحدة الريم هي وحدة قياس مكافيء الجرعة Dose Equivalent (DE) . وان مكافيء الجرعة هو حاصل ضرب الجرعة (D) في عدد يمثل الاهمية البايولوجية النسبية او التاثير البايولوجي النسبي RBE للاشعاع ، الذي يسمى بمعامل النوعية QF اما التاثير البايولوجي النسبي فهو نسبة جرعة اشعاع معين الى

Dr.Malik

جرعة الاشعة السينية التي تنتج نفس التاثير البايولوجي . ومن تعريف ريم ، فان مكافيء الجرعة =الجرعة × معامل النوعية

$$DE = D\ X\ QF \quad \text{.....(2-65)}$$

فاذا كانت الجرعة مقاسة بوحدات راد فان مكافيء الجرع يقاس بوحدات ريم

$$DE(rem) = D(rad)\ X\ QF \quad \text{.....(2-66)}$$

واذا استخدمنا الوحدة الدولية لقياس الجرعة . أي وحدة الكري فان مكافيء الجرعة يقاس بوحدة السيفرت Sievert (Sv) وعلى الشكل الاتي

$$DE(Sv) = D(Gy)X\ QF \quad \text{.....(2-67)}$$

وبناء على هذا فان سيفرت واحد يساوي مائة ريم

$$1Sv = 100\ rem$$

<u>الحد المسموح به للتعرض للاشعاع :</u>

الحد المسموح به للتعرض للاشعاع لازال موضع جدل لم يتم تحديده بصورة نهائية . والمصدر الرئيس للمعلومات عن تاثير الاشعاع من الدراسة الشاملة التي اجريت على ضحايا القنبلتين النوويتين اللتين القيتا على مدينتي هيروشيما وناكازاكي في اليابان عام 1945 .

ان حدود المعتمدة في الوقت الحاضر والتي اوصت بها الوكالة الدولية للوقاية من الاشعاع (ICRP) على انها جرعة كل جسم Whole-body هي 5 rem/yr بالنسبة للعاملين بالاشعاع والمؤسسات النووية و 0.5rem/yr بالنسبة للفرد الواحد الذي لا يتعامل مع الاشعاع و 0.170 rem/yr كمعدل لعموم الناس .

ومازالت هناك اختلافات في معدل الجرعة المسموح بها permissible dose rate بالنسبة للعاملين بالاشعاع وحسب نوع العضو المتاثر بالاشعاع .

فعلى سبيل المثال الجرعة المسموح بها بالنسبة للغدد التناسلية ونخاع العظم هي 0.05 rem /yr

علما بان ما نستلمه من مصادر الخلفية الاشعاعية الطبيعية والاشعة الكونية والنظائر المشعة التي تتكون طبيعيا مثل سلاسل اليورانيوم والثوريوم وكذلك البوتاسيوم حوالي 0.1-0.2 rem/yr والجدول التالي يبين الكميات والوحدات المستخدمة عند قياس الاشعاع .

الكمية	مجال استخدامها (لقياس)	الوحدات التقليدية	الوحدات الدولية SI
الفاعلية (A)	معدل الانحلال	كيوري (Ci)	بيكرل (Bq)
التعرض للاشعاع (X)	تأيين الهواء	رونتكن (R)	كولوم/كغم (C/Kg)
جرعة الامتصاص(D)	امتصاص الطاقة	راد (rad)	كري (Gy)
مكافيء الجرعة (DE)	تأثيرات بايولوجية	ريم (rem)	سيفرت (Sv)

Dr.Malik

تفاعلات الاشعاع مع المادة

Interactions of Radiation with Matter

مقدمة :

ان ما يقصد بكلمة الاشعاع او الاشعاعات النووية : جميع الجسيمات المشحونة وغير المشحونة والاشعة الكهرومغناطيسية التي تنتج في العمليات الذرية والنووية الطبيعية والاصطناعية او بواسطة المعجلات والتي تستطيع ان تتفاعل مع الوسط الذي تمر فيه ويمكن تقسيم الاشعاعات النووية الى ثلاثة انواع وهي :

الجسيمات المشحونة charged particles (مثل الالكترونات والبروتونات وجسيمات الفا وشظايا الانشطار ... الخ) ، والجسيمات غير المشحونة uncharged particles (واهمها النيوترونات) ، والاشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic rays مثل (اشعة كاما و الاشعة السينية واشعة الكبح) .

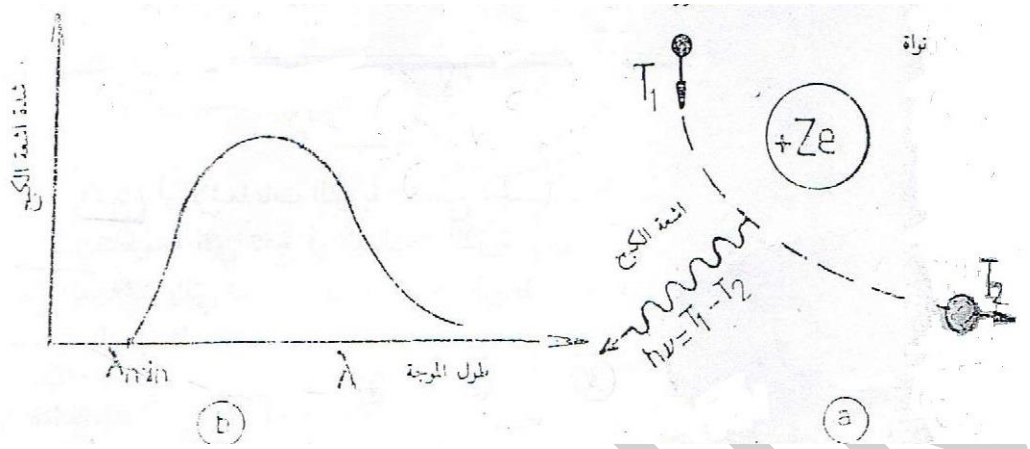
ان تفاعل كل نوع من الانواع الثلاثة تمتلك الية تفاعل تختلف عن اليات تفاعلات الانواع الاخرى بسبب طبيعة الاشعاع نفسه .

٣-١ اشعة الكبح Bremsstrahlung (braking radiation) :

اشعة الكبح : هي اشعة كهرومغناطيسية تنبعث عندما تمر جسيمة مشحونة (الكترون او جسيمة ثقيلة) بالقرب من نواة ذات شحنة كبيرة . فتخضع لتعجيل كبير مما يؤدي الى تغيير سريع ومفاجئ في اتجاه وسرعة الجسيمة المشحونة . وبما ان كل جسيمة مشحونة معجلة يجب ان تشع طاقة كهرومغناطيسية فان الجسيمات المشحونة تتخلص من طاقتها المكتسبة باعطاء موجات كهرومغناطيسية تسمى اشعة الكبح .

ان قياس الاطوال لامواج اشعة الكبح السينية الناتجة عن تعجيل الالكترونات تعطي طيفا مستمرا بطول موجة ذات قيمة صغرى . ويمكن ان نفهم بسهولة سبب وجود قيمة صغرى لطول الموجة ذلك لان الطاقة العظمى التي تستطيع اشعة الكبح ان تكتسبها هي الطاقة الحركية الكلية للالكترون . وهذا يعني ان تردد اشعة الكبح يكون اعظم ما يمكن $E = hv$ اي ان طول الموجة هو اصغر ما يمكن لان $\lambda_{min} = \frac{c}{V_{max}}$

والشكل (١-٣) يبين كيفية انبعاث اشعة الكبح وطول الموجة الصغرى



الشكل (١-٤) :a : يبين انبعاث اشعة الكبح b: طيف الاشعة السينية المستمر بطول موجة صغرى

٣-٢ تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة :

تنقسم الجسيمات المشحونة الى قسمين : جسيمات مشحونة ثقيلة Heavy charged particles وهي كل الجسيمات التي تكون اثقل من الالكترون (مثل البروتونات والديترونات وجسيمات الفا ... الخ) وجسيمات مشحونة خفيفة Light charged particles اهمها الالكترون والبوزوترونات التي تتفاعل مع المادة بطريقة خاصة سنتطرق اليها لاحقا .

٣-٣ تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة :

عند مرور جسيمة مشحونة خلال وسط ما فانها تتفاعل بشكل رئيس مع الكترونات ذلك الوسط نتيجة لقوة كولوم التي تؤثر بين الجسيمة المشحونة والالكترونات . وبما ان احتلال نوى الوسط حوالي 10^{-15} فقط من حجم الذرات الموجودة فيه فان احتمالية تصادم الجسيمة المشحونة مع الالكترونات هي تقريبا 10^{15} مرة اكبر من احتمالية تصادمها مع النوى ولهذا فان الالية المهيمنة على فقدان طاقة الجسيمات المشحونة هي الاستطارة الكولومية بواسطة الكترونات الذرات مما يؤدي الى تأيينها او اثارتها . وهناك بعض النقاط الاساس يجب اخذها بنظر الاعتبار عند دراسة هذا الموضوع وهي :-

١- قبل فقدان الجسيمة المشحونة لجميع طاقتها يمكن ان تقوم بعدة آلاف من التصادمات الرأسية وغير الرأسية ، علما بان هناك انتقالا اعظم للطاقة من الجسيمة المشحونة الى الالكترونات يتم عند التصادم المباشر (الرأسي) Head on collision ، وفي معظم التصادمات الاخرى يكون فقدان الطاقة اقل من ذلك بكثير .

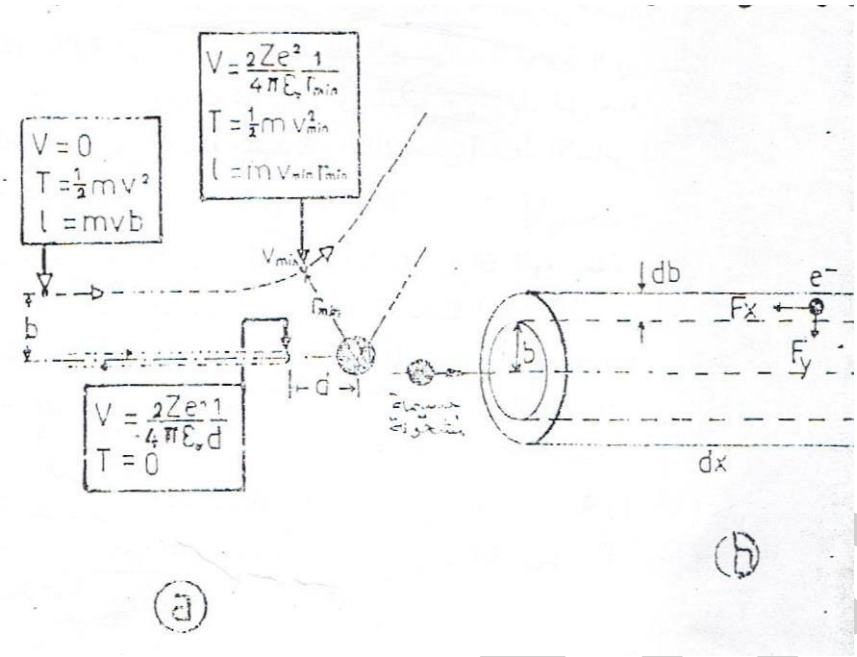
٢- في التصادم غير المباشر glancing collision بين الجسيمة المشحونة والالكترون تنحرف الجسيمة المشحونة الثقيلة بزاوية صغيرة جدا بحيث يمكن اهمالها وعلى هذا تسير الجسيمة بخط مستقيم تقريبا .

٣- بما ان لقوة كولوم مدى غير نهائي ، فان الجسيمة تتفاعل في الوقت نفسه مع عدد من الالكترونات وبهذا تفقد طاقتها بالتدريج ولكن يكون ذلك باستمرار على طول مسارها حتى تتوقف عن الحركة . وتسمى المسافة المقطوعة بالمدى range .

٤- الطاقة اللازمة لتأيين الذرة قليلة نسبيا (عدة الكترون فولت) واذا لم يعطى الالكترون الطاقة الكافية فان الذرة ستنتقل الى مستوى الاثارة ، الذي تعود منه بسرعة الى المستوى الارضي . اما الالكترونات التي تكتسب طاقات في نطاق الكيلو الكترون فولت (KeV) والتي تعرف باشعة دلتا Delta rays فتستطيع انتاج ايونات عن طريق التصادمات التي تؤدي الى انتاج الكترونات ثانوية عديدة . وعند حساب فقدان الطاقة من قبل الجسيمة المشحونة يجب ان ندخل في الحساب انتاج الالكترونات الاولية والثانوية بالاضافة الى طاقة اثارة الذرات .

١-٣-٣ فقدان الطاقة بالتصادم Energy loss by Collision :

كما مر سابقا فان الجسيمات المشحونة تتصادم مع ذرات الوسط اما بتصادم راسي $(b = 0)$ او بتصادم غير مباشر $(b \neq 0)$ حيث b يسمى بمعلم التصادم impact parameter او بعد التصادم ، وهو اصغر مسافة يقترب فيها مركزا الجسيمة المشحونة الساقطة والنواة كل منهما من الاخر عند غياب قوة التنافر بينهما.



الشكل (٢-٣) a: مخطط تصادم جسيمة مشحونة مع النواة الهدف b: جسمات تدخل الحلقة بين b و b+db

ففي تصادم رأسي $(b = 0)$ بين جسيمة مشحونة ذات كتلة M والكترون ذو كتلة m (على فرض ان الالكترون ساكن وحر) فان الفقدان في الطاقة الحركية للجسيمة الساقطة يحسب من العلاقة الاتية

$$\Delta T = T\left(\frac{4\,m}{M}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3\text{-}1)$$

حيث T هي الطاقة الحركية للجسيمة المشحونة الساقطة . اما فقدان الطاقة في وحدة الطول $\frac{dE}{dX}$ فيمكن حسابه بصورة عامة اي عندما $b \neq 0$ وعلى وفق الاتي :

نفرض ان الجسيمة المشحونة الثقيلة تقترب من النواة في مسار على شكل خط مستقيم وعلى بعد مسافة b كما مبين في الشكل (٢-٣) وان الالكترون حر ، لتبسيط عملية الحساب ، لذا فان مقدار فقدان الطاقة من قبل الجسيمة المشحونة يساوي مقدار ربح الطاقة من قبل الالكترون. ومن الممكن حساب هذا الربح على وفق الاتي : ان قوة كولوم $\vec{F}$ التي تؤثر فيها الجسيمة المشحونة على الالكترون يمكن تحليلها الى مركبة افقية F_x ومركبة شاقولية F_y حيث $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F_x} + \overrightarrow{F_y}$. ان المركبة الافقية لا تعمل على اخراج الالكترون من قشرته وتكسبه زخماً مقداره Pe وعلى هذا فان

$$\int F_x\, dt = 0 \quad \text{.....(3-2)}$$

$$\int F_y\, dt = Pe \quad \text{.....(3-3)}$$

ان من الممكن حساب الزخم المكتسب من قبل الالكترون بتطبيق قانون كاوس للشحنات الكهروستاتيكية .

$$\int E\, dS = \frac{q}{4\pi\epsilon_o}\ X\ 4\pi$$

حيث E تمثل قوة المجال الكهربائي على سطح حجم اي مسار مغلق يحيط بالشحنة الكهربائية q (او $\frac{q}{4\pi\epsilon_o}$ بالوحدات الدولية) . وان dS تمثل وحدة السطح المحيطة بالشحنة الكهربائية . وعلى وفق المبين في الشكل (٣-٢) فان تفاعل الجسيمة المشحونة مع الالكترونات سيكون على شكل اسطوانة نصف قطرها يساوي معلم التصادم b وان ارتفاعها الجانبي سيكون مساويا لمسافة dx . وعلى هذا فان $ds = 2\pi\, b\, dx$ وحيث ان $E = \frac{F_y}{e}$ وان $q = ze$ فان

$$\int E\, dS = \int \frac{F_y}{e}\ X\ 2\pi b dx = \frac{ze}{4\pi\epsilon_o}\ X\ 4\pi$$

$$\int \frac{F_y}{e} dx = \frac{ze}{4\pi\epsilon_o} . \frac{2}{b} \quad \text{.....(3-4)}$$

وحيث ان المسافة المقطوعة من قبل الالكترون هي $dx = \mathrm{v}dt$ فان المعادلة (٣-٤) تصبح كالاتي :

$$\int F_y\, dt = \frac{ze}{4\pi\epsilon_o} . \frac{2}{b\mathrm{v}} \quad \text{.....(3-5)}$$

$$\therefore Pe = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right) \frac{2z}{b\mathrm{v}} \quad \text{.....(3-6)}$$

حيث Pe هو الزخم المكتسب من قبل الالكترون (حسب المعادلة ٣-٣) ولما كان من المعروف ان قيمة الثابت $\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)$ تساوي $1.44\ MeV.fm$ والتي يمكن حسابها بسهولة . فان الطاقة الحركية التي يكتسبها الالكترون والتي تفقدها الجسيمة المشحونة الثقيلة تساوي .

$$T = \frac{Pe^2}{2m_o} = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2\ X\ \frac{2z^2}{m_o b^2 \mathrm{v}^2} \quad \text{.....(3-7)}$$

Dr.Malik

وفي هذه المعادلة نجد ان جميع الكميات يمكن قياسها او معرفتها باستثناء معلم التصادم b ذلك من الصعب قياسه مباشرة . لذا يجب ايجاد قيمته بطريقة غير مباشرة . بما ان قوة كولوم متناظرة بالنسبة لتفاعل الجسيمة المشحونة مع الالكترونات فان الاستطارة الكولومية تكون على شكل اسطوانة متناظرة حول محور حزمة الجسيمات الساقطة ، وعليه فاننا نتعامل مع شكل حلقي سمكه db ومساحته $2\pi bdb$ وفق الشكل (٢-٣) .

فأذا فرضنا ان n هو عدد الذرات في وحدة الحجم ، وان Z هو عدد الالكترونات الموجودة في كل ذرة فان nZ سيمثل عدد الالكترونات في وحدة الحجم من مادة التوقيف stopping material (مادة الكاشف مثلا) وعلى هذا فان عدد الالكترونات الكلي الموجودة في اسطوانة مساحة قاعدتها $2\pi bdb$ وعلى مسار طوله dx هي

$$nZ.2\pi bdb.dx \quad \text{.....(3-8)}$$

وبما ان كل الكترون سيكتسب طاقة مقدارها T ، حسب المعادلة (٣-٧) فهذا يعني ان الجسيمة المشحونة ستفقد طاقة كلية في وحدة المسافة مساوية الى

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \int_{b_{min}}^{b_{max}} nZ.2\pi bdb.\frac{2z^2}{m_o b^2 \mathrm{v}^2} \quad \text{.....(3-9)}$$

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \frac{4\pi z^2 nZ}{m_o \mathrm{v}^2} \ln\frac{b_{max}}{b_{min}} \quad \text{.....(3-10)}$$

والان يجب ان نحدد قيم معلم التصادم العظمى b_{max} والصغرى b_{min} . ان زمن التصادم Δt يجب ان لا يكون اطول من مدة دوران الالكترون في مداره اثناء انتقال الطاقة الى الالكترون

$$\Delta t_{max} = \frac{1}{v} = \frac{b_{max}}{\mathrm{v}}$$

حيث v هي تردد الدوران

$$\therefore\ b_{max} = \frac{\mathrm{v}}{v} \quad \text{.....(3-11)}$$

اما b_{min} فتتحدد من مبدأ انعدام الدقة لان الالكترون لا يجب ان يوجد بالنسبة للجسيمة الثقيلة على مسافة اقل من طول موجة دي برولي الخاصة به لكي لا يدخل داخل الجسيمة المشحونة . وبما ان

$$\Delta x.\Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

$$\therefore\ b_{min} = \frac{\hbar}{2p} = \frac{\hbar}{2m_o \mathrm{v}} \quad \text{.....(3-12)}$$

ولهذا فان

$$\frac{b_{max}}{b_{min}} = \frac{2m_o \mathrm{v}^2}{\hbar v}$$

وبالتعويض عن هذه القيمة في المعادلة (٣-١٠) نحصل على

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \frac{4\pi z^2 nZ}{m_o \mathrm{v}^2} \ln \frac{2m_o \mathrm{v}^2}{\hbar v}$$

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \frac{4\pi z^2 nZ}{m_o \mathrm{v}^2} \ln \frac{2m_o \mathrm{v}^2}{I_{av}} \quad \text{.....(3-13)}$$

ومن الممكن كتابة المعادلة (٣-١٣) بالصيغة الاتية :

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \frac{4\pi z^2 N_A Z\rho}{m_o \mathrm{c}^2\beta^2 A} \ln \frac{2m_o \mathrm{c}^2\beta^2}{I_{av}} \quad \text{.....(3-14)}$$

وحيث I_{av} هو معدل جهد التاين والاثارة للذرات ويساوي تجريبيا الى 86 eV بالنسبة للهواء و 163 eV بالنسبة للالمنيوم وان ze شحنة الجسيمة المشحونة الثقيلة وان m_o كتلة الالكترون ، $\mathrm{v} = \beta c$ سرعة الجسيمة المشحونة ، $\rho\ ,A\ ,Z$ هي العدد الذري والعدد الكتلي وكثافة مادة التوقيف على التوالي . N_A عدد افوكادرو وان $\left(\frac{n}{V}\right) = \frac{\rho\ X\ N_A}{A}$. المعادلة (٣-١٤) تستخدم عندما تكون سرعة الجسيمة المشحونة الثقيلة غير نسبية وعندما تسير الجسيمات نسبية يجب ادخال التصحيحات المتعلقة بالسرع النسبية وبهذا تصبح العلاقة النظرية لفقدان الطاقة لوحدة المسافة كالاتي :

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 X \frac{4\pi z^2 N_A Z\rho}{m_o \mathrm{c}^2\beta^2 A} \left[\ln\left(\frac{2m_o \mathrm{c}^2\beta^2}{I_{av}}\right) - \ln(1-\beta^2) - \beta^2\right] \quad \text{.....(3-15)}$$

ان من الممكن تحديد مقدار فقدان الطاقة عمليا بدون الرجوع الى الحسابات النظرية (٣-١٥) وذلك بتحديد عدد الايونات i الناتجة على طول مسار الجسيمة المشحونة اي ان

$$\left(\frac{dT}{dx}\right) = Wi \quad \text{.....(3-16)}$$

حيث W هو مقدار الطاقة اللازمة لانتاج ايون واحد ولايعتمد بدرجة كبيرة عمليا على الطاقة الحركية للجسيمة الساقطة ولا على نوعها (شحنتها كتلتها) . وذلك وفق المبين في الجدول

الجسيمة	الوسط	طاقتها	W(eV)
الالكترون	هواء	5 KeV	35.0
البروتون	هواء	340 KeV	33.3
جسيمات الفا	هواء	5.3 KeV	35.2
جسيمات الفا	هيدروجين	5.3 KeV	36.0
جسيمات الفا	هيليوم	5.3 KeV	31.0

ومن الجدول يتبين ان معدل الطاقة اللازمة لانتاج ايون واحد يصل الى حوالي 34 eV

مثال:

احسب عدد الايونات الناتجة عند فقدان جسيمات الفا جميع طاقتها التي تساوي 5.3 MeV في حجرة التأيين المملوءة بالهواء ؟ وما مقدار الشحنة الكلية الناتجة للالكترونات ؟

الحل :

بما ان معدل الطاقة اللازمة لانتاج ايون واحد هي 34 eV فيمكن حساب عدد الايونات من (٣-١٦) كالاتي

$$T = Wi$$

$$5.3\ X\ 10^6 = 34\ X\ i$$

$$i = \frac{5.3\ X\ 10^{6}}{34} = 155882\ ions = 1.56\ X\ 10^{5}\ ions$$

وبما ان كل الكترون يحمل شحنة مقدارها $1.6\ X\ 10^{-19}\ C$ فان شحنة الالكترونات الكلية تساوي

$$Q_e = 1.56\ X\ 10^{5}\ X\ 1.6\ X\ 10^{-19} = 2.50\ X\ 10^{-16}\ Coulomb$$

٢-٣-٣ المدى The Range :

المدى او احيانا يسمى بمعدل المدى mean range وهو معدل المسافة المقطوعة من قبل الجسيمة المشحونة قبل فقدانها لجميع طاقتها الحركية ويمكن حسابه بتكامل المعادلة (٣-١٤) او (٣-١٥) على نطاق طاقة الجسيمة المشحونة ، اي ان

$$R = \int_0^R dx = \int_{T_o}^{0} \frac{dx}{dT} dT = \int_0^{T_o} \left(-\frac{dT}{dx}\right)^{-1} dT \quad \text{.....(3-17)}$$

حيث ان T_o هي الطاقة الحركية الابتدائية للجسيمة المشحونة . وبالتعويض عن قيمة $\left(-\frac{dT}{dx}\right)$ من المعادلة (٣-١٤) او المعادلة (٣-١٥) لنحصل على

$$R = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 \int \left(\frac{4\pi z^2 N_A Z\rho}{m_o C^2 \beta^2 A}\right) \ln\left(\frac{2m_o C^2 \beta^2}{I_{av}}\right) dT \quad \text{.....(3-18)}$$

فاذا كان المقدار $\ln\left(\frac{2m_o C^2 \beta^2}{I_{av}}\right)$ لا يعتمد على سرعة الجسيمة المشحونة عندئذ يمكن كتابة (٣-١٨) بالشكل البسيط الاتي الذي يبين ان مدى الجسيمة المشحونة يتناسب مع مربع الطاقة الحركية الابتدائية

$$R \propto T_o^2 \quad \text{.....(3-19)}$$

كما يمكن كتابة المعادلة (٣-١٧) بالشكل الاتي الذي يؤدي الى نفس نتيجة المعادلة (٣-١٩)

$$R = MZ^2 \int f(\mathrm{v}) d\mathrm{v} \quad \text{.....(3-20)}$$

حيث $f(\mathrm{v})$ هي دالة تتعلق بسرعة الجسيمة (اي بطاقتها الحركية) لا تعتمد على شحنة الجسيمة وكتلتها .

Dr.Malik

وبهذا يكون من الممكن اجراء مقارنة بين مدد جسيمات مختلفة تسير في المادة نفسها وتكون ذات سرع ابتدائية متساوية :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{Z_2^2}{Z_1^2} \quad \text{.....(3-21)}$$

حيث R_1 M_1 Z_1 هي المدى والكتلة والعدد الذري للجسيمة الاولى والرقم ٢ يمثل الجسيمة الثانية . ومن الجدير بالذكر ان نلاحظ صعوبة تحديد المدى عمليا بشكل دقيق وذلك لوجود اختلافات احصائية في مقدار الطاقة المفقودة في وحدة المسافة $\left(\frac{dT}{dx}\right)$ وكذلك في العدد الكلي لازواج الايونات المتولدة في الوسط الذي تمر فيه الجسيمة المشحونة .

٤- ٣ تفاعل الالكترونات Interaction of electrons :

الالكترونات هي جسيمات مشحونة (موجبة او سالبة) خفيفة تتفاعل مع الكترونات الذرات من خلال استطارة كولوم ، تماما كتفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة . ولما كان سبب الاختلاف كبيرا في الكتل فان عددا من الفروق المهمة يمكن ملاحظته وذلك على وفق الاتي :

١- الالكترونات وخاصة تلك التي تنبعث من انحلا بيتا β-decay وهي تسير بسرع نسبية عالية بسبب صغر كتلتها . ($m_p=m_n=1836\ m_e$)

٢- عند التصادم مع الكترونات الدرات نلاحظ ان الالكترونات الساقطة تعاني من انحرافات كبيرة ولهد فانها ستسير بمسار متعرج erratic path وليس بخط مستقيم كما هو الحال بالنسبة للجسيمات الثقيلة وان مداها (الذي يعرف على انه المسافة المستقيمة التي تقطعها الجسيمة داخل المادة قبل توقفها تماما عن الحركة) سيكون مختلفا تماما عن الطول المسار الذي سيسير فيه الالكترون .

٣- في التصادم الراسي بين احد الالكترونات والكترون اخر، يتم انتقال جزء كبير من الطاقة الابتدائية الى الالكترون المقصوف .

٤- اثناء مرور الالكترون بالقرب من النوى داخل المادة يمكن ان يتعرض الى تعجيلات سريعة ومفاجئة مما يؤدي الى احداث تغييرات في اتجاهه وسرعته وبسبب ذلك يتوجب على الالكترون التخلص من

الطاقة المكتسبة على شكل اشعاعات كهرومغناطيسية تسمى باشعة الكبح و كما مر شرحة سابقا في (البند ١-٣) .

ان علاقة فقدان الطاقة في وحدة طول المسار بالنسبة للاكترونات اشتقت ايضا من قبل بيثي Bethe وهي مشابهة للمعادلة (١٥-٣) الخاصة بالجسيمة المشحونة الثقيلة ، عدا ان فقدان الطاقة يكون بطريقة استطارة كولوم c وبواسطة الاشعاع r ايضا وعلى وفق الاتي :

$$\left(-\frac{dT}{dx}\right)_c = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 \times \frac{4\pi N_A Z\rho}{m_o c^2 \beta^2 A}\left[\ln\frac{T(T+m_o c^2)\beta^2}{2I_{av}^2 m_o c^2} + (1-\beta^2) - \left(2\sqrt{1-\beta^2} - 1 - \beta^2\right)\ln 2 + \frac{1}{8}\left(1-\sqrt{1-\beta^2}\right)^2\right] \quad \text{.....(3-22)}$$

$$\left(-\frac{dT}{dx}\right)_r = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o}\right)^2 \times \frac{Z^2 N_A (T+m_o c^2)\rho}{137 m_o c^4 A}\left[4\ln\frac{2(T+m_o c^2)}{m_o c^2} - \frac{4}{3}\right] \quad \text{.....(3-23)}$$

حيث T هي الطاقة الحركية للالكترون ، فان المعادلة (3-23) الخاصة يفقدان الطاقة بواسطة الاشعاع تكون صحيحة فقط للطاقات النسبية ، اما اذا كانت طاقة الالكترون اقل من 1MeV فيكون من الممكن عندئذ اهمال فقدان الطاقة بالاشعاع .

وعلى هذا فان فقدان الطاقة الكلي يساوي مجموع فقدان الطاقة بالاستطارة الكولومية وبالاشعاع اي ان

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_T = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_c + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_r \quad \text{.....(3-24)}$$

اما ما يتعلق بالنسبة بينهما فيمكن حسابها من العلاقة الاتية

$$\frac{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_c}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_r} = \frac{T+m_o c^2}{m_o c^2}\frac{Z}{1600} \quad \text{.....(3-25)}$$

حيث Z هو العدد الذري لمادة التوقيف وان $m_o c^2 = 0.51\ MeV$ بالنسبة للالكترون .

٤-٤ تفاعل النيترونات مع المادة :

من المعروف ان النيترونات هي جسيمات عديمة الشحنة وبهذا تكون غير قادرة على تايين الوسط الذي تمر فيه مما يتطلب القيام بعمليات اخرى ثانوية .

لذا فان تفاعل النيترونات مع المادة يتم بطرق مختلفة عن التفاعل الجسيمات المشحونة فمن الممكن ان تستطير النيترونات من قبل النوى باستطارة مرنة او غير مرنة ، كما يمكن ان تؤسر من قبل النوى او المواد مع انبعاث اشعة كاما وهذه الطريقة تستخدم نطاق واسع عند تشعيع عينات مختلفة في المفاعلات النووية . غير ان اهم تفاعل للنيترونات مع المادة هو امتصاصها من قبل مواد قابلة للانشطار بعد تبطئتها او تهدئتها مما يؤدي الى ما يعرف بالانشطار النووي .

ومع ذلك فان تفاعل النيترونات مع المادة يختلف كثيرا عن تفاعل الجسيمات المشحونة . لقد وجد فيرمي عام ١٩٣٤ ان النشاط الاشعاعي لهدف ما يقصف بواسطة نيترونات سريعة ويزداد عند تبطئة النيترونات السريعة وذلك بوضع مادة هيدروجينية (اي تحتوي على كميات كبيرة من الهيدروجين والتي تسمى بالمهدئ) امام الهدف . وعندما تدخل نيترونات سريعة ، والتي تكون طاقتها بحدود 2MeV وتمر داخل الوسط ، فان عددا من التصادمات المرنة وغير المرنة يمكن ان تؤدي الى انحراف النيترونات عن اتجاهها في كل تصادم فتفقد جزءا من طاقتها وتميل للانتقال بعيدا عن مصدر انبعاثها وستقل شدتها في الحزمة الساقطة حسب القانون الاسي الاتي

$$I = I_o e^{-\sigma_t n x} \quad \text{.....(3-26)}$$

حيث dx سمك المسافة المقطوعة من قبل النيترون داخل المادة ، n عدد الذرات في وحدة حجم من المادة ، σ_t المقطع العرضي الكلي الذي يشمل امتصاص النيترونات واستطارتها من قبل المادة التي يمر فيها و I_o شدة النيترونات الابتدائية اي قبل دخول المادة .

ان مقدار فقدان الطاقة من قبل النيترون في كل تصادم على انفراد يمكن حسابه من حل معادلات حفظ الطاقة والزخم الخطي . غير ان هناك طريقة اخرى اكثر سهولة هي استخدام نظامين مرجعيين للإحداثيات ، النظام المختبري حيث تعتبر النواة الهدف ساكنة قبل التصادم ، ونظام مركز الكتلة حيث

يعتبر فيه مركز كتلة النيترون و النواة هو الثابت وان كلا من النيترون و النواة الهدف يسيرون نحوه . ويبين الشكل ( ) رسما تخطيطيا للنظامين قبل التصادم وبعده . وكذلك العلاقة بين زوايا الاستطارة في النظام المختبري وفي نظام مركز الكتل .

والان نناقش حالة تصادم مرن . حيث تكون النواة المقصوفة غير متهيجة ويكون الزخم الخطي و الطاقة الحركية محفوظين ، بين نيترون ذي طاقة ابتدائية E_o و سرعة ابتدائية v_o وكتلة (m=1) و نواة هدف كتلتها m=A ، حيث A هو العدد الكتلي . وعند استخدام قانون حفظ الزخم الخطي فانه يمكن حساب سرعة مركز الكتلة في النظام المختبري على وفق الاتي :

$$mv_o + A\,x\,v = (m + A)V_c$$

وذلك على اساس ان النواة الهدف ساكنة في النظام المختبري ، لذا فان v=0 . وهكذا فان V_c تساوي:

$$V_c = \frac{m}{m+A} v_o \quad \text{.....(3-27)}$$

اما في نظام مركز الكتلة فان سرعة النيترون المستطير ($v_o - V_c$) تساوي

$$(v_o - V_c) = v_o - \frac{m}{m+A} v_o = \frac{A}{m+A} v_o \quad \text{.....(3-28)}$$

وبناء على هذا يمكن حساب النسبة بين طاقة النيترون النهائية E وطاقته الابتدائية E_o من الشكل ( ) كدالة لزاوية الاستطارة في نظام مركز الكتلة

$$v^2 = \left(\frac{A}{m+A}\right)^2 v_o^2 + \left(\frac{m}{m+A}\right)^2 v_o^2 + 2\left(\frac{A}{m+A}\right)\left(\frac{m}{m+A}\right) v_o^2 \cos\emptyset \frac{v^2}{v_o^2} = \frac{A^2+m^2+2mA\cos\emptyset}{(m+A)^2} \quad \text{.....(3-29)}$$

وحيث ان كتلة النيترون تساوي تقريبا واحدا m=1 فان

$$\frac{E}{E_o} = \frac{A^2+1+2A\cos\emptyset}{(A+1)^2} \quad \text{.....(3-30)}$$

في تصادم غير مباشر ، حيث $\emptyset \approx 0$ و من المعادلة (٣-٣٠) فان $\frac{E}{E_o} = 1$ اي ان طاقة النيترون المستطير E تساوي تقريبا طاقة النيترون الساقط E_o ليس هناك فقدان في الطاقة او ان كمية الطاقة المفقودة يمكن اهمالها وبهذا نحصل على العلاقة الاتية :

$$E = E_o \quad \text{.....(3-31)}$$

في تصادم مباشر حيث $\emptyset \approx 180$ فان

$$\frac{E}{E_o} = \frac{A^2+1-2A}{(A+1)^2} = \frac{(A-1)^2}{(A+1)^2} = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 = \alpha \quad \text{.....(3-32)}$$

ويحدث اعظم فقدان في الطاقة النيترون المستطير E_{min} ، بدون امتصاص بالطبع .

$$E_{min} = \alpha\, E_o \quad \text{.....(3-33)}$$

حيث

$$\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \quad \text{.....(3-34)}$$

و من الجدير بالملاحظة عندة استعمال الهيدروجين (A=1) كمهدئ للنيترونات $\alpha = \left(\frac{1-1}{1+1}\right)^2 = 0$ اي ان $E_{min} = 0$ وهذا يعني ان النيترون يعطي جميع طاقة البروتون (نواة ذرة الهيدروجين) . وبهذا يعد الهيدروجين مهدئا جيدا للنيترونات ، الماخذ الوحيد عليه هو ان مقطعه العرضي لامتصاص النيترونات الحرارية كبيرة يساوي 0.332 barns بالنسبة للكاربون 0.0034 barns ، اي ان الهيدروجين يمتص العديد من النيترونات بدلا من تبطئتها .

<u>مثال محلول</u>

احسب فقدان الطاقة (كنسبة مئوية) بالنسبة لتصادم مباشر (رأسي) لنيترون مع مهدئ من الكرافايت (الكاربون A=12) .

Dr.Malik

الحل

في تصادم مباشر تستخدم المعادلة (٣٢-٣) حيث

$$\frac{E}{E_o} = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 = \left(\frac{12-1}{12+1}\right)^2 = 0.72$$

$$E = 0.72E_o$$

ومن الممكن حساب النسبة المئوية لفقدان الطاقة على وفق الاتي :

$$E_o - E = E_o - 0.72E_o = E_o(1-0.72)$$

$$\left(\frac{E_o - E}{E_o}\right) \times 100\% = (1-0.72) \times 100\% = 28\%$$

اي ان النيترون يفقد ٢٨% من طاقة في كل تصادم مباشر مع ذرة كاربون .

اسئلة

٤-١ ماهي طبيعة اشعة الكبح ؟

٤-٢ اشرح ماسبب كون احتمالية تصادم الجسيمة المشحونة مع الالكترونات

حوالي مرة اكبر من احتمالية التصادم مع نواة الذرة .

٤-٣ ماهي الالية المهيمنة على فقدان الجسيمة المشحونة لطاقطها عند تفاعلها مع المادة

٤-٤ متى يحدث اعظم انتقال للطاقة من الجسيمة المشحونة الى الالكترون

٤-٥ عرف معلم التصادم . كيف تحدد قيمته العظمى وقيمة الصغرى .

٤-٦ كيف يمكن قياس مقدار الفقدان في طاقة الجسيمة المشحونة في وحدة المسافة

Dr.Malik

$\left(-\frac{dT}{dx}\right)$ عمليا وليس من خلال المعادلات النظرية .

٤-٧ هل يعتمد مقدار الطاقة اللازمة الانتاج ايون واحد مشحون على طاقة الجسيمة المشحونة وعلى نوعها ؟ بين ذلك على شكل جدول .

٤-٨ ماهو الفرق بين تفاعل الالكترونات مع المادة وتفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة .

٤-٩ بماذا يختلف تفاعل النيترونات مع المواد عن تفاعل الجسيمات المشحونة.

٤-١٠ ماسبب استخدام مواد هيدروجينية (مواد تحتوي على كميات كبيرة من الهيدروجين) لتبطئة النيترونات . اعطي امثلة على ذلك

Dr.Malik

الانشطار والاندماج النووي

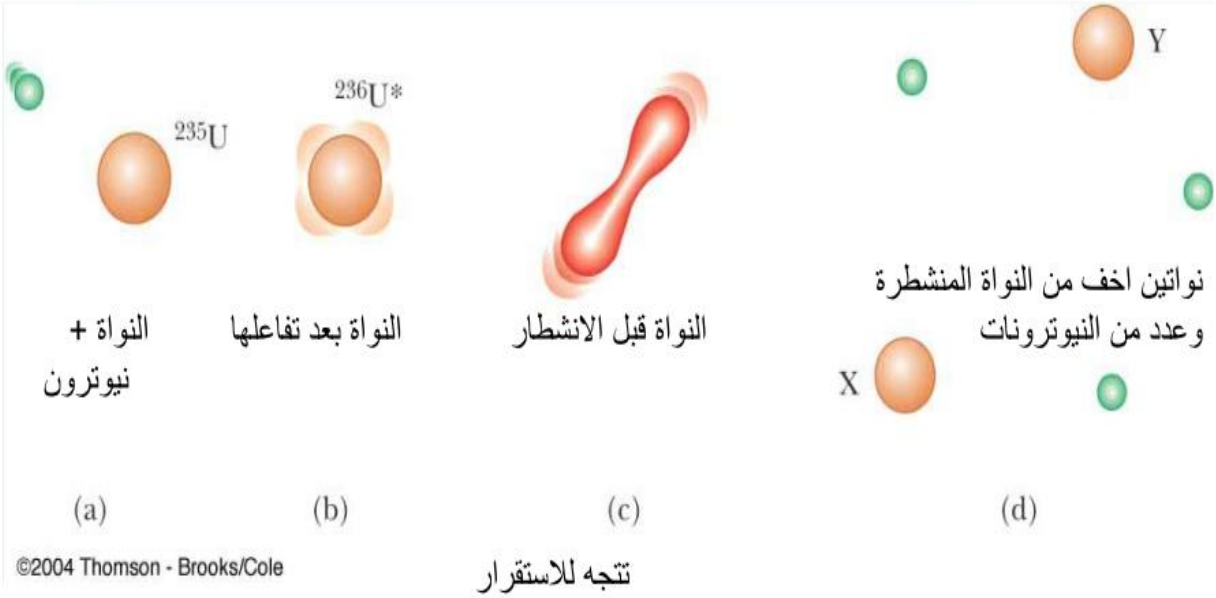
1- الإنشطار النووي

تعريفه :

الأنشطار النووي هي عملية انشطار نواة ذرة ما إلى قسمين أو أكثر ويتحول بهذه العملية مادة معينة إلى مواد أخرى وينتج عن عملية الأنشطار هذه نيوترونات وفوتونات عالية الطاقة(بالاخص اشعة جاما) ودقائق نووية مثل جسيمات ألفا وأشعة بيتا. يؤدي انشطار العناصر الثقيلة إلى تولد كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والإشعاعية.

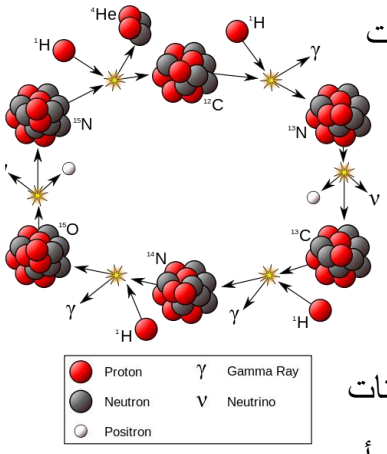
- هو تفاعل نووي حيث تنشطر نواة ثقيلة مثل نواة نظير اليورانيوم-٢٣٥ لينتج نواتين أخف وطاقة؛

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2\,^{1}_{0}n + Energy$$



طاقة الربط لكل نيوكلون = 8.5 MeV ⟵ 7.6 MeV

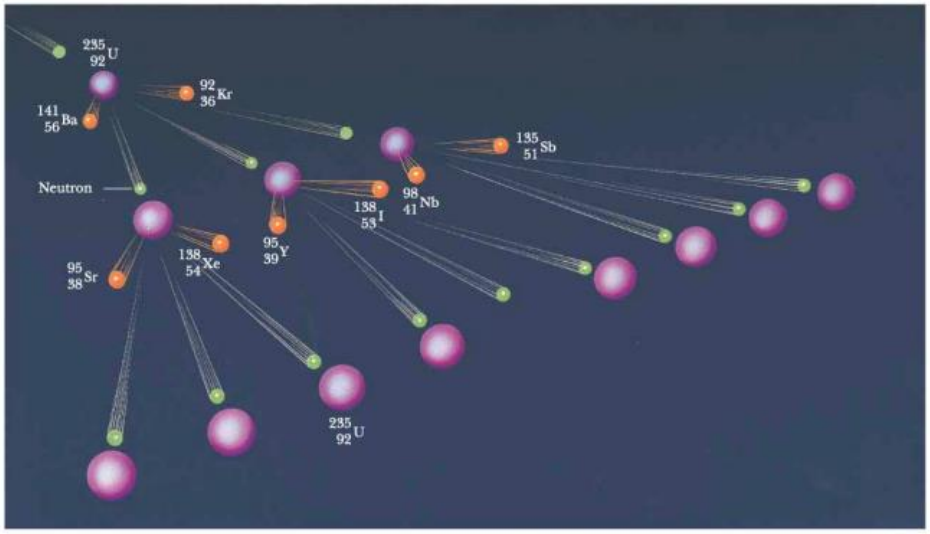
-الطاقة المحررة لكل نواة منشطرة: Q = 235 x (8.5-7.6) = 200 MeV



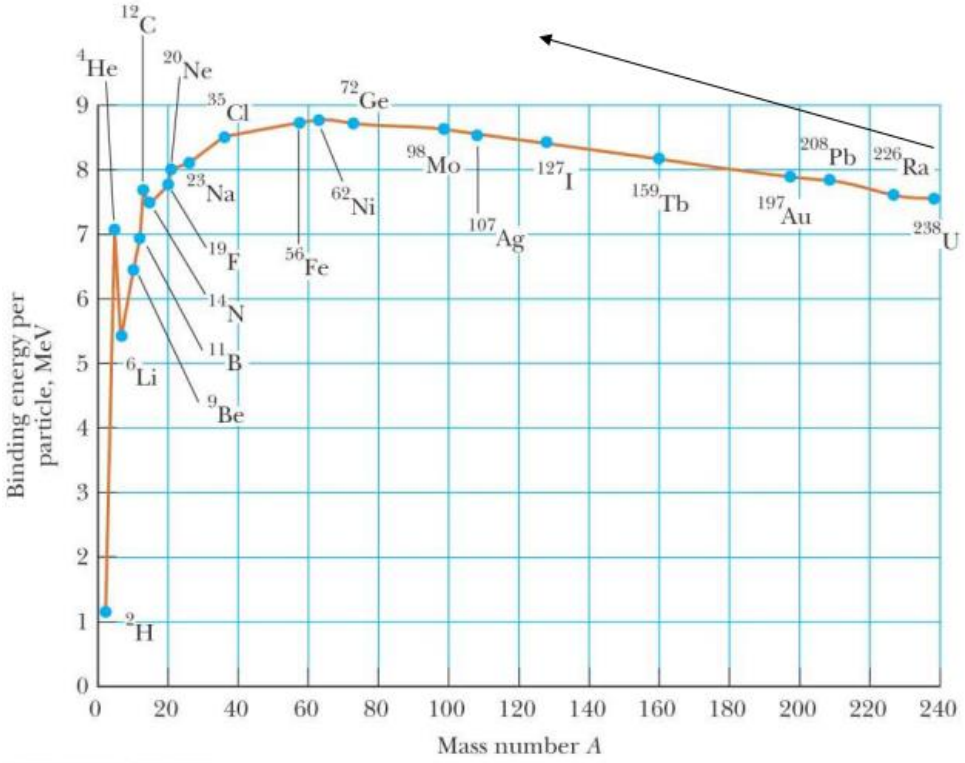
تستعمل عملية الأنشطار النووي في إنتاج الطاقة الكهربائية في المفاعلات النووية كما تستعمل لإنتاج الأسلحة النووية. ومن الموادالنووية الانشطارية الهامة والتي تستخدم كثيرا في المفاعلات الذرية مادتي اليورانيوم-235 وبلوتونيوم-239. والتي هي عماد الوقود النووي. وفي الوقود النووي يتم ما يسمى بالتفاعل المتسلسل حيث يصطدم نيوترونا مع نواة ذرة اليورانيوم-235 فتنقسم إلى قسمين ويصاحب هذا الانقسام انطلاق عددا من النيوترونات يقدر ب 2 و5 نيوترونا في المتوسط. ويمكن لتلك النيوترونات الناتجة أن تصطدم بأنوية أخرى من اليورانيوم-235 وتتفاعل معها وتعمل على انشطارها. بذلك يزيد معدل التفاعل زيادة تسلسلي قد يؤدي إلى الانفجار إذا لم ننجح في ترويضه والتحكم فيه.

التفاعل المتسلسل:

- كما هو وضح بالشكل المرفق وما سبق ذكره، فان النيوترونات الناتجة من الانشطار النووي يمكن ان تتفاعل مع نواة اليورانيوم-٢٣٥ ان وجدت وتنتج مزيد من النيوترونات التي تتفاعل حتى تنفذ ذرات اليورانيوم ويسمى ذلك بالتفاعل المتسلسل.



انشطار نووي



- حساب الطاقة المتحررة نتيجة انشطار النوى التي يحتويها واحد كيلوجرام من اليورانيوم-٢٣٥

- الطاقة الكلية (E) = الطاقة المحررة نتيجة انشطار النواة (200 MeV) * عدد النوى

- عدد النوى لكل كيلوجرام =

$$6.022 \times 10^{23} \text{ (atom/mole-g) X } 1000 \text{ (g)}/235 \text{ (g/mole)} = 2.56 \times 10^{24}$$

- $E = 200 \times 2.56 \times 10^{24} = 5.1 \times 10^{26}$ MeV

- $E = 5.1 \times 10^{26}$ MeV $\times 1.6 \times 10^{-13}$ j/MeV $= 8.16 \times 10^{13}$ j

- هذه الطاقة المحررة نتيجة الانشطار اما تكون تحت السيطرة كما هو الحال داخل المفاعلات النووية أو خارج السيطرة كما هو الحال بالنسبة للقنابل النووية

وفي المفاعلات النووية التي تستخدم لإنتاج الطاقة الكهربائية يُستعمل اليورانيوم-235 أو البلوتونيوم-239 بنسبة 5 و3 % في مخلوط أكسيد اليورانيوم لإنتاج الطاقة. ويحتاج مفاعل نووي كبير يعمل بقدرة 1000 ميجاوات إلى نحو 100 طن من أكسيد اليورانيوم تكفيه لمدة ثلاثة سنوات. إلا أن الطريقة الاقتصادية لتشغيل المفاعل النووي تتطلب إيقاف تشعيل المفاعل كل سنة لمدة عدة أسابيع، تجري خلالها أستبدال ثلث كمية الوقود النووي المستهلك بوقود جديد، وكذلك لإجراء أعمال الصيانة والتفتيش عن أي خلل قد يحدث ومعالجة الخلل.

كيفية حصول الانشطار :

تفاصيل تفاعل الانشطار النووي

تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم-235 بواسطة النيوترون.

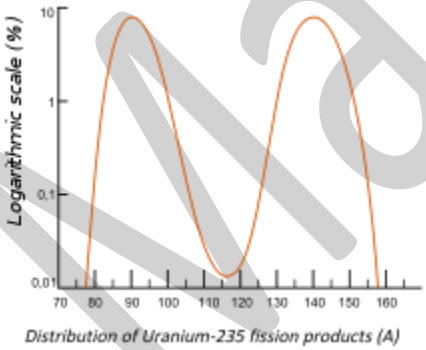
يختلف الانشطار النووي عن عملية التحلل الإشعاعي من ناحية انه يمكن السيطرة على عملية الأنشطار النووي خارجيا. تقوم النيوترونات الحرة الناتجة من كل عملية انشطار وهي في المتوسط 5و2 نيوترونا، بالتفاعل مع اليورانيوم أو البلوتونيوم وتتسبب في انشطارها. وهذا بالتالى يؤدي إلى تحرير نيوترونات أخرى. وتستمر هذه السلسلة من التفاعلات التي تسمى تفاعل متسلسل.

يطلق على نظائر عناصر كيميائية لها القدرة على تحمل هذه السلسلة الطويلة من الأنشطارات النووية اسم الوقود النووي .من أكثر أنواع الوقود النووي استعمالا هي اليورانيوم ذو كتلة ذرية رقم 235) يورانيوم-235 (وبلوتونيوم ذوكتلة ذرية رقم 239) بلوتونيوم-239(، هذين العنصرين ينشطران بصورة بطيئة جدا تحت الظروف الطبيعية التي تسمى ب الانشطار التلقائي وتاخذ هذة العملية التلقائية ما يقارب 550 مليون سنة عمر النصف لليورانيوم. أما في المفاعل النووي فتجمع كمية من الوقود النووي فوق الكتلة الحرجة ويجري التحكم فيها بواسطة قضبان تتخللها من الكادميوم الماصة للنيوترونات. بذلك يمكن المحافظة على معدل سير التفاعل لإنتاج الطاقة ومنعه من الانفلات وأحداث الدمار.

نواتج الانشطار :

ينتج عن انشطار نواة اليورانيوم نواتين صغيرتين في أغلب التفاعلات ، كما من الممكن أن ينتج عن لانشطار أكثر من نواتين . وقد تكون "أنصاف" نواة اليورانيوم الناتجة زوجا من نوكليدات مختلفة . وغالبا ما تنتج نواة لها كتلة ذرية خفيفة نسبيا (نحو 90) مصحوبة بنواة ثقيلة) كتلة ذرية . (140 ولذلك يبين منحنى توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار قمتين (توزيع كتلة الأنوية الناتجة) .ويبقى مجموع البروتونات والنيوترونات قبل التفاعل وبعده ثابتا. وعل سبيل المثال نذكر هنا حالتين ممكنتان للانشطار النووي للبلوتونيوم-239 بواسطة امتصاصه لأحد النيوترونات:

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{144}_{56}\mathrm{Ba} + ^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2\ ^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad ^{239}_{94}\mathrm{Pu} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{130}_{51}\mathrm{Sb} + ^{107}_{43}\mathrm{Tc} + 3\ ^{1}_{0}\mathrm{n}$$



توزيع الأنوية الناتجة عن الانشطار بحسب كتلهم الذريةA

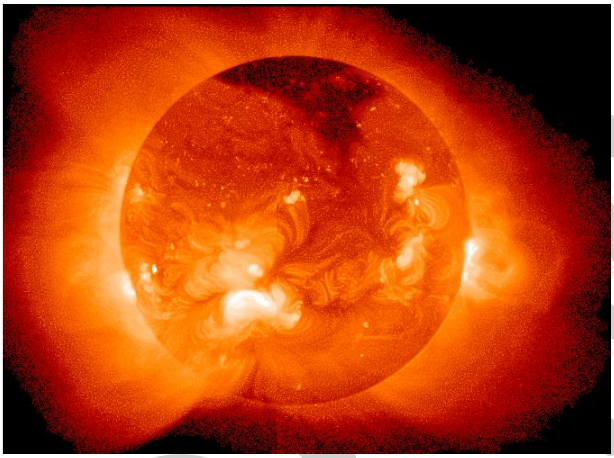
نواتج الانشطار تكون أنوية ذرية متوسطة الكتلة ، وفي نفس الوقت غنية بالنيوترونات . وهي لذلك عناصر غير مستقرة ويصدرون في العادة نيوترونات زائدة عن مقدرتهم الاحتفاظ بها خلال عدة ثوان من بعد تكونهم ، وتكون لهم أهمية في ضبط معدل التفاعل الجاري في مفاعل نووي . وتتحلل بعض تلك الأنوية الناتجة عن الانشطار عن طريق تحلل بيتا إلى عناصر أخرى. و تحلل بيتا لا يغير من الكتلة الذرية وينتهي تحلل بيتا المتتابع عند نواة مستقرة ، وقد تستغرق تحللات بيتا الأخيرة قرب الوصول إلى العنظر المستقر أعمار النصف طويلة على مدي مئات السنين أو آلاف السنين .

ينتج عن كل عملية انشطار قدر هائل من الطاقة يبلغ نحو 200 مليون إلكترون فولت تظهر في صورة حرارة وإشعاع ،و يمكن استغلال الحرارة لتوليد بخار ماء ، ومن بخار الماء توليد كهرباء وهذا ما يجري في مفاعل نووي

2- الاندماج النووي

تعريفه :

تفاعل الاندماج النووي (يعرف أيضا بالـ تيرمونووي) هو، بالإضافة إلى الانشطار، أحد أهم أنواع التفاعلات النووية التطبيقية .



الاندماج النووي عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل. ويلعب اندماج الأنوية الخفيفة مثل البروتون وهو نواة ذرة الهيدروجين والديوترون نواة الهيدروجين الثقيل والتريتيون وهو نواة التريتيوم دوراً هائلاً في العالم وفي الكون، حيث ينطلق خلال هذا الاندماج كمية هائلة من الطاقة تظهر على شكل حرارة وإشعاع كما يحدث في الشمس، فتمدنا بالحرارة والنور والحياة. فبدون هذا التفاعل ما وُجدت الشمس وما وُجدت النجوم، ولا حياة من دون تلك الطاقة المسماة طاقة الاندماج النووي. وتنتج تلك الطاقة الهائلة عن فقد في وزن النواة الناتجة عن الاندماج النووي، وهذا الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً لمعادلة ألبرت أينشتاين التي تربط العلاقة بين الكتلة والطاقة.

هذا التفاعل هو الذي يغذي الشمس وباقي النجوم الأخرى في الكون، ويمدهم بالحرارة والضوء.

فائدة الاندماج النووي تكمن في إطلاقه كميات طاقة أكبر بكثير مما يطلقه الانشطار. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المحيطات تحتوي بشكل طبيعي على كميات كافية من الدويتريوم اللازم للتفاعل فإذا فلح الإنسان في

ترويض تلك الطاقة لتغذية الكوكب بالطاقة لمدة آلاف السنين، كما أن المواد المنبعثة عن الاندماج (خصوصا الهيليوم 4)، ليست مواداً مشعّة.

و على الرغم من العدد الكبير من التجارب التي تم القيام بها في كل أنحاء العالم منذ خمسين سنة، فإنه لم يتم التوصل إلى بناء مفاعل يعمل بالاندماج، ولكن الأبحاث في تقدم مستمر لغرض التوصل إلى ذلك. وكل ما اسطاع الإنسان التوصل إليه في هذا المجال جاء في المجال العسكري بابتكار القنبلة الهيدروجينية.

الاندماج النووي:

- هو تفاعل نووي حيث تندمج النوى الخفيفة لتكون نوى أثقل لتزيد طاقة اربط لكل نيوكلون عنها للنوى الخفيفة وتتحرر طاقة.

$$ {}_1^1H + {}_1^1H \rightarrow {}_1^2H + {}_0^1e \quad \& \quad {}_1^1H + {}_1^1H \rightarrow {}_1^2H + {}_0^1e $$

$$ {}_1^2H + {}_1^1H \rightarrow {}_2^3He \quad \& \quad {}_1^2H + {}_1^1H \rightarrow {}_2^3He $$

$$ {}_2^3He + {}_2^3He \rightarrow {}_2^4He + {}_1^1H + {}_1^1H $$

$$ 6\,{}_1^1H + 2\,{}_1^2H + 2\,{}_2^3He \rightarrow {}_2^4He + 2\,{}_2^3He + 2\,{}_1^2H + 2\,{}_1^1H + 2\,{}_0^1e $$

$$ 4\,{}_1^1H \rightarrow {}_2^4He + 2\,{}_0^1e $$

$$ 4.0313u \rightarrow 4.0376u $$

$$ \Delta m = 0.0276u \quad \& Q = \Delta m * 931.5 = 25.7\ MeV $$

أي ان اندماج اربع نوى من الهيدروجين ينتج طاقة مقدارها 25.7 MeV.

كيفية حصول الاندماج :

يحدث تفاعل الاندماج النووي عندما تتداخل نواتان ذريتان. ولكي يتم هذا التداخل، لا بد من أن تتخطى النواتان التنافر الحاصل بين شحنتيهما الموجبتين (و تعرف الظاهرة بالحاجز الكولومبي). إذا ما طبقنا قواعد

الميكانيكا الكلاسيكية وحدها، سيكون احتمال الحصول على اندماج الأنوية منخفضا للغاية، بسبب الطاقة الحركية (الموافقة للهيجان الحراري) العالية جدا اللازمة لتخطي الحاجز المذكور. وفي المقابل، تقترح ميكانيكا الكم، وهو ما تؤكده التجربة، أن الحاجز الكولومبي يمكن تخطيه أيضا بظاهرة النفق الكمومي، بطاقات أكثر انخفاضا.

وبالرغم من ذلك، فإن الطاقة اللازمة للاندماج تبقى مرتفعة جداً، وهو ما يقابله حرارة أكثر من عشرات أو ربما مئات الملايين من الدرجات المئوية حسب طبيعة الأنوية. وفي داخل الشمس على سبيل المثال، يجري تفاعل اندماج الهيدروجين المؤين عبر مراحل إلى تولد الهليوم، في ظل حرارة تقدر ب 15 مليون درجة مئوية، ويحدث ذلك ضمن عدة تفاعلات مختلفة تنتج عنها حرارة الشمس. وتُدرس بعض تلك التفاعلات بين نظائر الهيدروجين بغرض إنتاج الطاقة عبر الاندماج مثل الديوتيريوم–ديوتيريوم أو الديوتيريوم–تريتيوم (انظر أسفله). أما في الشمس فتتواصل عملية الاندماج إلى العناصر الخفيفة ثم المتوسطة ثم ينتج منها العناصر الثقيلة مثل الحديد، الذي يحتوي في نواته على 26 بروتون ونحو 30 من النيوترونات. وفي بعض النجوم الأكثر كتلة عن الشمس، تتم عمليات اندماج لأنوية أضخم تحت درجات حرارة أكبر.

وعندما تندمج أنوية صغيرة، تنتج نواة غير مستقرة تسمي أحيانا نواة مركبة، ولكي تعود إلى حالة استقرار ذات طاقة أقل، تُطلق جسيم أو أكثر (فوتون، نيوترون، بروتون، على حسب التفاعل)، وتتوزع الطاقة الزائدة بين النواة والجسيمات المطلقة في شكل طاقة حركيّة. وطبقاً للرسم التوضيحي تنطلق نواة ذرة الهيليوم بطاقة قدرها 3و5 MeV وينطلق النيوترون بطاقة قدرها 14,1 MeV (ميجا إلكترون فولت). وفي المفاعلات الاندماجية الجاري تطبيقها حاليا يجتهد العلماء للحصول على مردود جيد من الطاقة خلال الاندماج، أي من الضروري أن تكون الطاقة الناتجة أكبر من الطاقة المستهلكة لتواصل التفاعلات واستغلال الحرارة الناتجة في إنتاج الطاقة الكهربائية. كما يجب عزل محيط التفاعل ومواد المحيط في المفاعلات الاندماجية.

عندما لا يوجد أي وضع مستقر، تقريبا، قد يكون من المستحيل أن نقوم بإدماج نواتين (على سبيل المثال : (He + 4He).

إن التفاعلات الاندماجية التي تطلق أكبر قدر من الطاقة هي تلك التي تستخدم أكثر الأنوية خفّة لإنتاج الهيليوم، لأن الهيليوم ونواته جسيم ألفا هي أقوى نواة ذرة هلى الإطلاق من جهة تماسكها، فهي تحتوي على

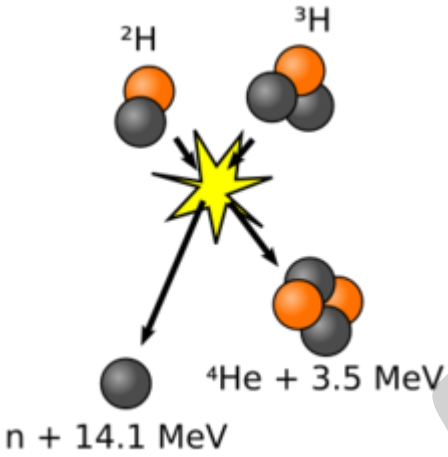
2 بروتون و 2 نيوترون وهؤلاء الأربعة شديدو التماسك بحيث يتحول جزء يعادل 005و0 من كتلتهم كما في التفاعل الموضح بالرسم ،إلى طاقة حركة تتوزع بين نواة الهيليوم الناتجة والنيوترون. ومجموع الطاقتين الموزعتين = 3,5 + 14,1 = 17,6 ميجا إلكترون فولت. وبالتالي فإن أنوية الدويتيريوم (بروتون واحد ونيوترون واحد) والتريتيوم (بروتون واحد ونيوترونان)، مستخدمة في التفاعلات التالية :

ديوتيريوم + ديوتيريوم –> هيليوم 3 + نيوترون

ديوتيريوم + ديوتيريوم –> تريتيوم + بروتون

ديوتيريوم + تريتيوم –> هيليوم 4 + نيوترون

ديوتيريوم + هيليوم–3 –> هيليوم–4 + بروتون



و هذه التفاعلات هي أكثر التفاعلات دراسة في المخابر عند تجارب الاندماج المراقبة، وكل منها ينتج نحو 17 ميجا إلكترون فولت من الطاقة.

-الطاقة الناتجة عن اندماج كيلو جرام من الهيدروجين = (عدد ذرات الهيدروجين لكل كجم/٤)*25.7

$E = (6.022 \times 10^{26}/4) * 25.7 = 3.868 \times 10^{27}$ MeV

- للمقارنة تذكر ان الطاقة الناتجة عن انشطار كيلو جرام من اليورانيوم = 5.1×10^{26} MeV

- أي ان طاقة الناتجة عن الاندماج ١ كجم هيدروجين أكبر من الناتجة عن انشطار ١ كجم يورانيوم بحوالي ٨ مرات.

- يمكن حدوث التفاعل الاندماجي كما هو موضح ←

$$ {}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n $$
$$ Q \cong 3.7\ MeV $$

حيث ان He-3 نظير غير مشع.

-تعرف الطاقة الناتجة بواسطة الاندماج بالطاقة النظيفة حيث وقودها هو الهيدروجين الموجود بوفرة في الطبيعة ولا ينتج عنها أي نفايات خطيرة كما هو الحال بالنسبة للطاقة الناتج بواسطة الانشطار.

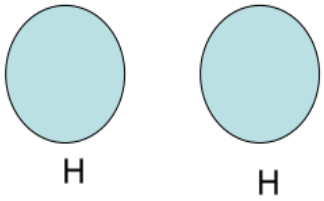
- التفاعل الاندماجي يحتاج إلى طاقة لحدوثه (لكي تتغلب على طاقة التنافر الكهربية بين النوى المندمجة) وهو ما يحدث بسطح الشمس

- الطاقة اللازمة هي 360 keV وهو ما يعادل تسخين الغاز لدرجة حرارة تصل إلى 10^9 k لإعطاء نصفها لكل نواة

$$r = 4x10^{-15}\,m$$

$$u = k_e \frac{e^2}{r} = \frac{9x10^9\,x(1.6x10^{-19})^2}{4x10^{-15}}$$

$$= 360\,keV$$



الاندماج المتحكم فيه

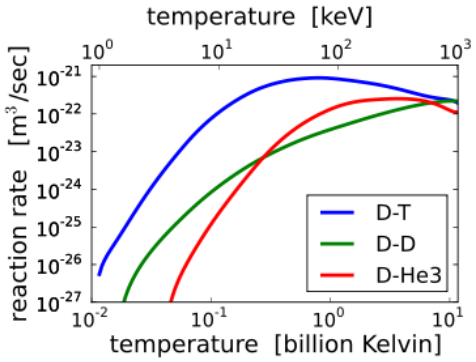
يمكن التفكير في عدة طرق تمكّننا من احتجاز محيط التفاعل للقيام بتفاعلات اندماج نووية، ويقوم العلماء فعلا بتلك التجارب بواسطة الاحتجاز المغناطيسي لما يسمى البلازما في جهاز مفرغ من الهواء مع رفع درجة حرارة البلازما إلى عشرات الملايين درجة مئوية. ولكن احتجاز البلازما – وهي أنوية التريتيوم و الديوتيروم العارية من الإلكترونات – تحت هذه الحرارة العالية صعب جدا إذ كلها تحمل شحنة كهربائية موجبة تجعلهم يتنافرون عن بعضهم. فما يلبث التفاعل أن يبدأ بينهم لمدة أجزاء من الثانية حتى يتنافروا ويتوقف التفاعل. وينصب حاليا اهتمام العلماء على ابتكار وسيلة يستطيعون بها إطالة مدة انحصار البلازما وإطالة مدة التفاعل. وتلك المجهودات ما هي إلا بغرض استغلال طاقة الاندماج النووي لإنتاج الطاقة الكهربائية.

الاندماج بالاحتجاز المغناطيسي

التوكاماك، حيث يحتجز خليط من نظائر الهيدروجين بواسطة حقل مغناطيسي بالغ الشدة.

الستيلاتور، حيث تؤمن الحواث (inductors) الاحتجاز بالكامل.

بلازما الاندماج :



رسم بياني يوضح العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التفاعل لثلاثة أنواع من التفاعلات الاندماجية.

عندما تصل الحرارة الدرجة التي يحصل فيها الاندماج، تكون المادة في حالة بلازما. إنها حالة خاصة للمادة الأولية، تكوّن فيها الذرات أو الجزيئات غازا أيونيا.

تحت درجات الحرارة العالية يتم اقتلاع إلكترون أو أكثر من السحابة الإلكترونية المحيطة بكل نواة، مما ينتج عنه أيونات موجبة وإلكترونات طليقة.

ينتج عن التحرك الكبير للأيونات والإلكترونات داخل بلازما حرارية، عدة اصطدامات بين الجسيمات الموجبة الشحنة الكهربية. ولكي تكون هذه الاصطدامات قوية بما فيه الكفاية لإنشاء تفاعل اندماجي، تتدخل ثلاث عوامل :

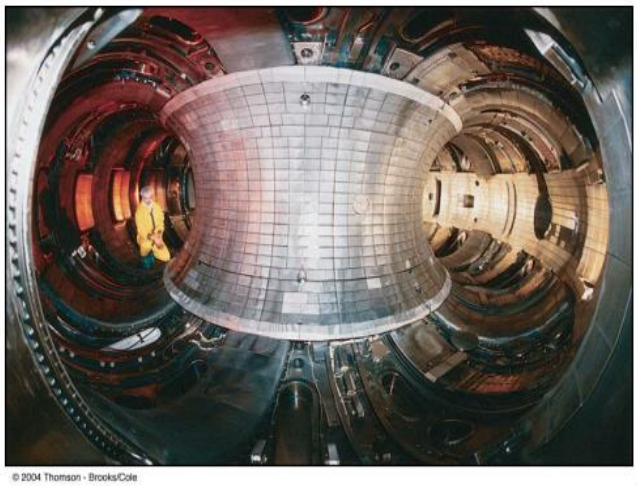
الحرارة T ;

الكثافة N ;

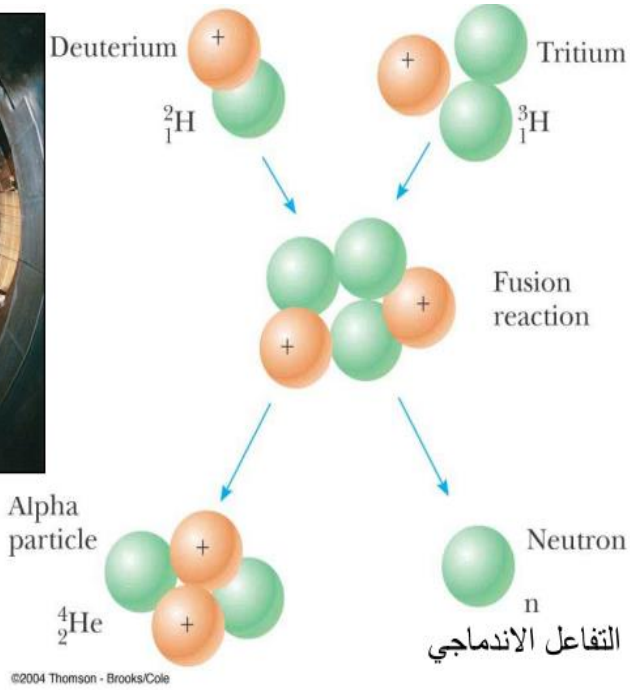
زمن الاحتجاز τ.

حسب لوسون فإن المعامل Nτ يجب أن يصل حدا فاصلا للحصول على الـ breakeven حيث تكون الطاقة الناتجة عن الاندماج مساوية للطاقة المستخدمة. يحدث الإيقاد إثر ذلك في مرحلة أكثر إنتاجا للطاقة (لم يتوصل العلماء لإيجادها حتى اليوم في المفاعلات التجريبية الحالية). إنه الحد الذي يكون التفاعل إثره

قادرا على المواصلة من تلقاء ذاته من دون انقطاع. لتفاعل ديتوريوم + تريسيوم، يقدّر هذا الحد بـ 1014 ثانية/سم^3.



مفاعل اندماجي تجريبي



التفاعل الاندماجي

المشاكل التي واجهت العلماء :

1- الحصول على درجة حرارة عالية تبلغ ملايين الدرجات المئوية لتحويل نظائر الهيدروجين H21s، H31s إلى حالة البلازما Plasma أي الحالة المتأينة منها ولتكتسب طاقة الحركة اللازمة للتغلب على قوى التنافر بين الأنوية .

2- تجميع البلازما فى مركز الوعاء الحاوى للوقود Plasma Confinement وذلك لإبعادها عن الجدران فتصبح البلازما معزولة ولا تتسرب طاقتها إلى الوسط المحيط بها وبذلك تحافظ على درجة حرارتها وترتفع فيها درجة الحرارة والضغط تدريجياً حتى تتم عملية الاندماج .

ولتحقيق هذه الشروط يوضع خليط الديوتيريوم والتريتيوم بكمية بسيطة داخل وعاء مفرغ إلى ضغط منخفض ويمر فى الوعاء تيار كهربى تبلغ شدته مئات الآلاف من الأمبيرات ونتيجة مرور التيار تنشأ حرارة عالية ترفع درجة حرارة نظائر الهيدروجين فتتحول إلى حالة البلازما وفى نفس الوقت يتولد مجال مغناطيسى قوى جداً يعمل على تجميع Confinement البلازما فى شريط رفيع وشديدة الإضاءة ذو ضغط وحرارة عالية وبعيداً عن جدران الوعاء .

- ومن الجدير بالذكر الإشارة إلى صعوبة الحصول على شدة التيار المطلوبة لأن هذا يتطلب بناء مولد كهربى الذى يقوم بتوليد فرق جهد يساوى مئات الملايين من الفولت بدون توقف . ويبين الشكل أساسيات أحد أجهزة الاندماج النووى الذى يعرف باسم توكاماك Tokamak.

مميزات الاندماج النووى :

يتميز الاندماج النووى عن الانشطار النووى كمصدر للطاقة بالمميزات الآتية :

1- وفرة الوقود الاندماجى فمن المعروف أن الديوتريوم H21sيوجد فى الماء الثقيل بمياه البحر حيث يكون نسبته إلى الماء العادى 1 : 6000 . وهذه الكمية من الديوتريوم تكفى لإنتاج الطاقة اللازمة للبشرية لحوالى 20 ألف مليون سنة .

2- الطاقة الناتجة من المفاعل الاندماجى أكبر من طاقة المفاعل الانشطارى فالكيلو جرام من اليورانيوم ينتج طاقة تعادل 22.9 مليون كيلووات ساعة بينما الكيلو جرام من الديوتيريوم ينتج 177.5 مليون كيلووات ساعة أي أنها أكبر بحوالى ثمان مرات .

3- لا تتخلف نظائر مشعة من عملية الاندماج النووى بينما يتخلف من عملية الانشطار النووى نفايات عالية الإشعاع التى تقدر بحوالى 8000 طن سنوياً من المفاعلات النووية العاملة فى العالم .

النماذج النووية

Nuclear models

4-1 نموذج قطرة السائل Liquid Drop Model :

ان القوى قصيرة المدى التي تربط النيوكليونات بصورة امنة داخل النواة هي اقوى انواع القوى وتدعى بالقوى النووية ولكنها غير مفهومة بصورة جيدة لحد الان . ونظرية التركيب النووي غير مكتملة مقارنة بنظرية التركيب الذري . وعلى الرغم من ذلك فهي تحدد طبيعة وخصائص النوى .

قوى التجاذب التي تجذب النيوكليونات الواحدة باتجاه الاخرى هي قوية جدا ومداها قصير ولمسافة فصل بين النيوكليونات بحدود 3 fm التجاذب النووي بين بروتونين هي 100 مرة اقوى من التنافر الكهربائي بينهما .

التفاعل النووي بين بروتون وبروتون او بين بروتون ونيوترون او بين نيوترون ونيوترون جميعها متطابقة .

وكتقريب اولي سوف نفرض ان كل نيوكليون في النواة تتفاعل بصورة بطيئة مع اقرب الجيران من النيوكليونات . هذه الحالة نفسها او مشابهة للذرات في المادة الصلبة التي فيها تتذبذب الذرات حول مواضع ثابتة في الشبيكة البلورية ، او كما للجزيئات في السوائل التي فيها الجزيئات حرة الحركة حول مسافات جزيئية داخلية .

والتشابه مع المواد الصلبة لا يتبع لان الحسابات تبين ان الاهتزاز للنيوكليونات حول معدل مواقعها تجعل من الصعب الحفاظ على استقرارها .

دعنا نرى صورة النواة كقطرة سائل حول التغيرات الملاحظة على طاقة الترابط لكل نيوكليون مع العدد الذري، سنبدأ بفرض ان الطاقة المرافقة لكل اصرة نيوكليون – نيوكليون لها قيمة U .هذه الطاقة سالبة لانها تتضمن قوى تجاذب ، ولكن تكتب عادة موجبة بسبب اعتبار ان طاقة الترابط موجبة للملائمة اكثر . وبسبب ان طاقة كل اصرة U يتشارك بها نيوكليونان كل منها لها طاقة ربط ½ U . عندما توضع عدد من الكرات المتماثلة بالقياس مع بعض في اقل حجم كما نفرضها في حالة النيوكليونات في النواة ، فان كل كرة داخلية لها اتصال او تماس مع 12 كرة اخرى محاطة بها لذا كل نيوكليون داخلي في النواة لها طاقة ربط.

(12)(1/2 U)=6 U اذا كانت كل النيوكليونات A داخل النواة لذا طاقة الترابط الكلية ستكون

$$E_v = 6AU \qquad (1)$$

المعادلة (1) غالبا ما تكتب للسهولة

Volume Energy $E_v = a_1 A$ (2)

الطاقة E_v تدعى بالطاقة الحجمية للنواة وتتناسب بصورة مباشرة مع A .

وبالطبع هناك بعض النيوكليونات على سطح كل نواة لذلك لها اقل من 12 جار . لذا عدد تلك النيوكليونات تعتمد على مساحة سطح النواة في السؤال . النواة التي لها قطر R لها مساحة $4\pi R^2 = 4\pi R_0^2 A^{2/3}$ لذا عدد النيوكليونات التي اقل من القيمة العظمى للاواصر يتناسب الى $A^{2/3}$ وتؤدي الى نقصان طاقة الترابط الكلية من خلال

Surface energy $E_s = -a_2 A^{2/3}$ (3)

الطاقة السالبة تدعى طاقة السطح للنواة . وهي مهمة في النوى الخفيفة بما ان نسبة كبيرة من نيوكليوناتها على السطح . بسبب ان الانظمة الطبيعية تحاول ان تاخذ ترتيب باقل طاقة كامنة او جهد ، النوى تحاول ان تاخذ ترتيب باعلى طاقة ربط . لذا النوى يجب ان تتعرض او تعاني نفس تاثيرات الشد السطحي كقطرة سائل . وبغياب التاثيرات الاخرى يجب ان تكون كروية لكون الكرة لها اقل مساحة سطحية للحجم المعطى .

التنافر الكهربائي بين اي زوج من البروتونات في النواة ايضا تساهم باتجاه نقصان طاقة ترابطها . طاقة كولوم E_c للنواة هو الشغل الذي يجب انجازه لجلب z من البروتونات نحو بعض من اللانهاية الى حيز كروي يتلائم مع قياس النواة . الطاقة الكامنة لزوج من البروتونات يبعدان عن بعض r تساوي :

$$V = e^2 / 4\pi\varepsilon_0 r$$

بما ان هناك $Z(Z-1)/2$ اجزاء من البروتونات

$$E_c = Z(Z-1)/2\ V = Z(Z-1)e^2/8\pi\varepsilon_0 (1/r)_{av} \qquad (4)$$

حيث $(1/r)_{av}$ هي قيمة اخذ معدل 1/r حول كل اجزاء البروتونات موزعة بتجانس على نواة بنصف قطر R.

، $(1/r)_{av}$ تتناسب مع $1/R$ والى $1/A^{1/3}$ لذا

Coulomb energy $E_C = -a_3 Z(Z-1)/ A^{1/3}$ (5)

طاقة كولوم سالبة بسبب ظهورها من تاثير يعاكس الاستقرار النووي .

طاقة الربط الكلية E_b هي مجموع الطاقات الحجمية والسطحية والكولومية :

$$E_b = E_V+E_S+E_C = a_1A+-a_2 A^{2/3} + -a_3 Z(Z-1)/ A^{1/3} \quad (6)$$

طاقة الربط لكل نيوكليون لذلك

$$E_b/A= a_1- a_2/A^{1/3}- a_3Z(Z-1)/A^{4/3} \quad (7)$$

التصحيح على الصيغة او المعادلة :

معادلة طاقة الربط (6) يمكن ان تبرهن بالأخذ بنظر الاعتبار تأثيرين التي لا تناسب نموذج قطرة السائل البسيط ولكن تعمل مجس بحدود النموذج والتي تجهز مستويات الطاقة النووية .

احدى هذه التاثيرات تحدث عندما النيوترونات في النواة عددها يفوق البروتونات والتي تعني ان المستويات العالية يجب ان تشغل اكثر من الحالة التي فيها النيوترونات تساوي البروتونات .

لنفترض مستويات النيوترون والبروتون العالية التي فيها مبدأ الاستبعاد تحدد جسمين فقط لكل فاصلة طاقة ε وللحصول على زيادة في النيوترونات عن البروتونات على سبيل المثال N-Z=8 بدون تغيير العدد الكتلي A اي 1/2(N-Z)=4 اربعة نيوترونات يجب ان تحل محل اربعة بروتونات في النواة الاصلية التي فيها N=Z النيوترونات الجديدة ستشغل مستويات اعلى بالطاقة $2\varepsilon=4\varepsilon/2$ من البروتونات التي عوضتها . وفي الحالة العامة التي فيها 1/2(N-Z) نيوترونات جديدة ، كل منها ترفع بالطاقة $1/2(N-Z)\varepsilon/2$. الشغل الكلي اللازم

$$\Delta E = \text{(عدد النيوترونات الجديدة)}(\text{ زيادة الطاقة / نيوترون جديد }) = [1/2(N-Z)][1/2(N-Z)\varepsilon/2]= \varepsilon/8(N-Z)^2$$

Because $N=A-Z,(N-Z)^2=(A-2Z)^2$ and

$$\Delta E=\varepsilon/8(A-2)^2 \quad (8)$$

كما يحدث فان كلما كبر عدد النيوكليونات في النواة تصغر المسافة الفاصلة بين مستويات الطاقة ε وحيث ε تتناسب مع $1/A$. وهذا يعني ان طاقة التماثل E_a تدل على الاختلاف بين N و Z ويعبر عنها

Asymmetry energy $E_a = -\Delta E = -a_4(A-2Z)^2/A$ (9)

طاقة التماثل سالبة بسبب انها تقلل طاقة الربط للنواة .

حد التصحيح الاخير يظهر من الشد بين ازواج البروتونات وازواج النيوترونات . النوى الزوجية – الزوجية اكثر استقرارا ولها طاقة ترابط اعلى من النوى الاخرى . لذا النوى $_8^{16}O$, $_6^{12}C$, $_2^4He$ تظهر كقمم في المنحني التجريبي لطاقة الربط لكل نيوكليون . ومن مسار اخر النوى الفردية – الفردية لها طاقة ترابط واطئة. طاقة الازدواج E_P موجبة للنوى الزوجية – الزوجية و 0 النوى الفردية – الزوجية وكذلك للنوى الزوجية – الفردية وسالبة للنوى الفردية – الفردية وتبدو بانها تتغير مع $A^{-3/4}$ لذا

Pairing energy $E_p = (\pm,0)\, a_5/A^{3/4}$ (10)

الصيغة النهائية لطاقة الربط لنواة ذات عدد ذري Z وعدد كتلي A هي

Semiempirical binding energy formula

$$E_b = \mathbf{a_1A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z(Z-1)/ A^{1/3}} - a_4(A-2Z)^2/A \pm a_5/A^{3/4} \quad (11)$$

ومجموعة المعاملات التي تعطي تتطابق جيد مع البيانات هي

a_1=14.1 MeV, $a_{2=}$ 13.0 MeV, $a_{3=}$ 0.595 MeV, $a_{4=}$ 19.0MeV, $a_{5=}$33.0MeV

المعادلة (11) تعطي نتائج متوافقة مع النتائج العملي اكثر من المعادل (6).

مثال 1: الكتلة الذرية لنظير الزنك هو $_{30}^{64}Zn$ is 63.929 u قارن طاقة ربطها مع توقعات المعادلة (11) .

الحل :

The binding energy of $_{30}^{64}Zn$ from eq. below:

$E_b = [Zm_p + Nm_n - m(_Z^AX)]\ 931.5$

E_b = [(30) (1.007825u)+(34)(1.008665u)-63.929u]931.5=559.1 MeV

باستخدام المعاملات ، المعادلة شبه التجريبية تعطي :

$E_b = (14.1\ MeV0(64)-(13.0MeV)(64)^{2/3}- (0.595MeV)(30)(29)/(64)^{1/3}$

$(19.0\ MeV)(16)/64+ 33.5MeV/(64)^{3/4}=561.7\ MeV$

الاشارة الموجبة بالحد الاخير بسبب ان النواة $_{30}^{64}Zn$ هي نواة زوجية – زوجية . والاختلاف بين القيمة الملاحظة والقيمة المحسوبة لطاقة الربط هي اقل من 5% .

مثال 2: الايزوبارات نوى لها نفس العدد الكتلي A . اشتق صيغة (معادلة) للعدد الذري للايزوبار الاكثر استقرارا للعدد الكتلي المعطى A واستخدمها لايجاد الايزوبار الاكثر استقرارا A=25 .

الحل :

لايجاد قيمة Z التي فيها طاقة الربط E_b اعظم قيمة ، والتي تقابل اعظم استقرارية ، يجب ان نحل $dE_b/dZ= 0$ بالنسبة لـ Z .

من المعادلة (11) نحصل على :

$dE_b/dZ= -a_3/A^{1/3}\ (2Z-1) +4a_4/A(A-2Z)=0$

$Z= a_3A^{-1/3} +4a_4/2\ a_3\ A^{-1/3}+8\ a_4\ A^{-1}= 0.595\ A^{-1/3}/\ 1.19A^{-1/3}+152A^{-1}$

لـ A=25 هذه المعادلة تعطي Z=11.7 ، التي من خلالها نستنتج ان Z=12 يجب ان تكون العدد الذري للايزوبار الاكثر استقرارا للعدد الكتلي A=25 . هذه النواة هي $_{12}^{25}Mg$ والتي هي بالحقيقة الايزوبار المستقر الوحيد للعدد الكتلي A=25 . الايزوبارات الاخرى $_{11}^{25}Na$ و $_{13}^{25}Al$ هي ايزوبارات مشعة غير مستقرة .

4-2 نموذج القشرة (الاعداد السحرية في النوى) :

الفرضية الاساس لنموذج قطرة السائل هي ان كل نيوكليون يتفاعل فقط مع اقرب جيرانها ، كما هي الجزيئة في السائل . ومن مسار اخر هناك دعم كثير لفرضيات ان كل نيوكليون يتفاعل مع مجال القوة العامة الناتجة بواسطة كل النيوكليونات الاخرى . الحالة الثانية هي تشابه الالكترونات في الذرة ، التي فيها مستويات كمية محددة ولا يشغلها اكثر من الكترونين التي هي فيرميونات ويمكن ان تشغل كل مستوي ، النيوكليونات هي ايضا فيرميونات ، وبعض الخصائص النووية تتغير دوريا مع Z و N بصورة مشابهة للتغير الدوري مع Z .

الالكترونات في الذرة تشغل مواقع (قشرات) صممت من الاعداد الكمية الرئيسية . درجة الاشغال للقشرات الخارجية هي التي تحدد او من خلالها نحصل على طبيعة والخصائص المهمة للذرات . و للاهمية فان الذرات التي فيها عدد الالكترونات 2 ، 10 ، 18 ، 36 ، 54 و 86 لها قشرات الكترونية ممتلئة . هذه التركيبات الالكترونية لها طاقة ربط عالية ومستقرة جدا . مثل الغازات النبيلة في الكيمياء .

التاثيرات نفسها لوحظت للنوى ، فالنوى التي تمتلك نيوترونات او بروتونات عددها 2 ، 8 ، 20 ، 28 ، 50 ، 82 و 126 هي الاكثر وفرة من النوى الاخرى التي لها عدد كتلي مشابه ، مقترحة انها تملك تركيب اكثر استقرار . بما ان النوى المعقدة او المركبة تظهر من التفاعلات بين النوى الخفيفة ، تخمين النوى الاثقل والاثقل (لانها متعلقة من حيث التكوين) يكون على اساس وفرتها .

الاعداد هذه تدعى بالاعداد السحرية . ومثال ذلك هو النموذج الملاحظ للعزم رباعي القطب الكهربائي النووي ، التي هي مقياس لابتعاد توزيع الشحنة النووية عن الشكل الكروي . النوى الكروية ليس لها عزم رباعي قطب ، بينما اما النوى التي لها شكل كرة قدم امريكية (شبه مسطحة) لها عزم رباعي قطب موجب والنوى التي لها شكل الزيتونة لها عزم رباعي سالب . النوى التي لها عدد سحري N او Z وجدت ان لها عزم رباعي قطب يساوي صفر وهي كروية الشكل بينما النوى الاخرى مشوهة الشكل .

القشرة للنواة تحاول ايجاد الاعداد السحرية وتحدد الخصائص النووية الاخرى بحدود طبيعة النيوكليون في مجال القوة الشائعة .

بسبب ان قيمة دالة الجهد – الطاقة للنواة غير معروفة مثلما هي للنواة ، لذلك فرضت دالة مناسبة U(r) . معادلة شرودنكر لجسيم داخل منخفض جهد من هذا النوع حلت ووجدت ان المستويات الثابتة للنظام تحصل تلك المميزة بواسطة الاعداد الكمية n ، l و m_l واهميتها مشابهة لتلك في الذرات .

النيوترونات والبروتونات تشغل مجاميع من المستويات المنفصلة بسبب ان البروتونات تتفاعل كهربائيا لوجود الشحنة النووية . وعلى اية حال مستويات الطاقة التي تاتي من تلك الحسابات لا تتفق مع التتابع الملاحظ للاعداد السحرية .

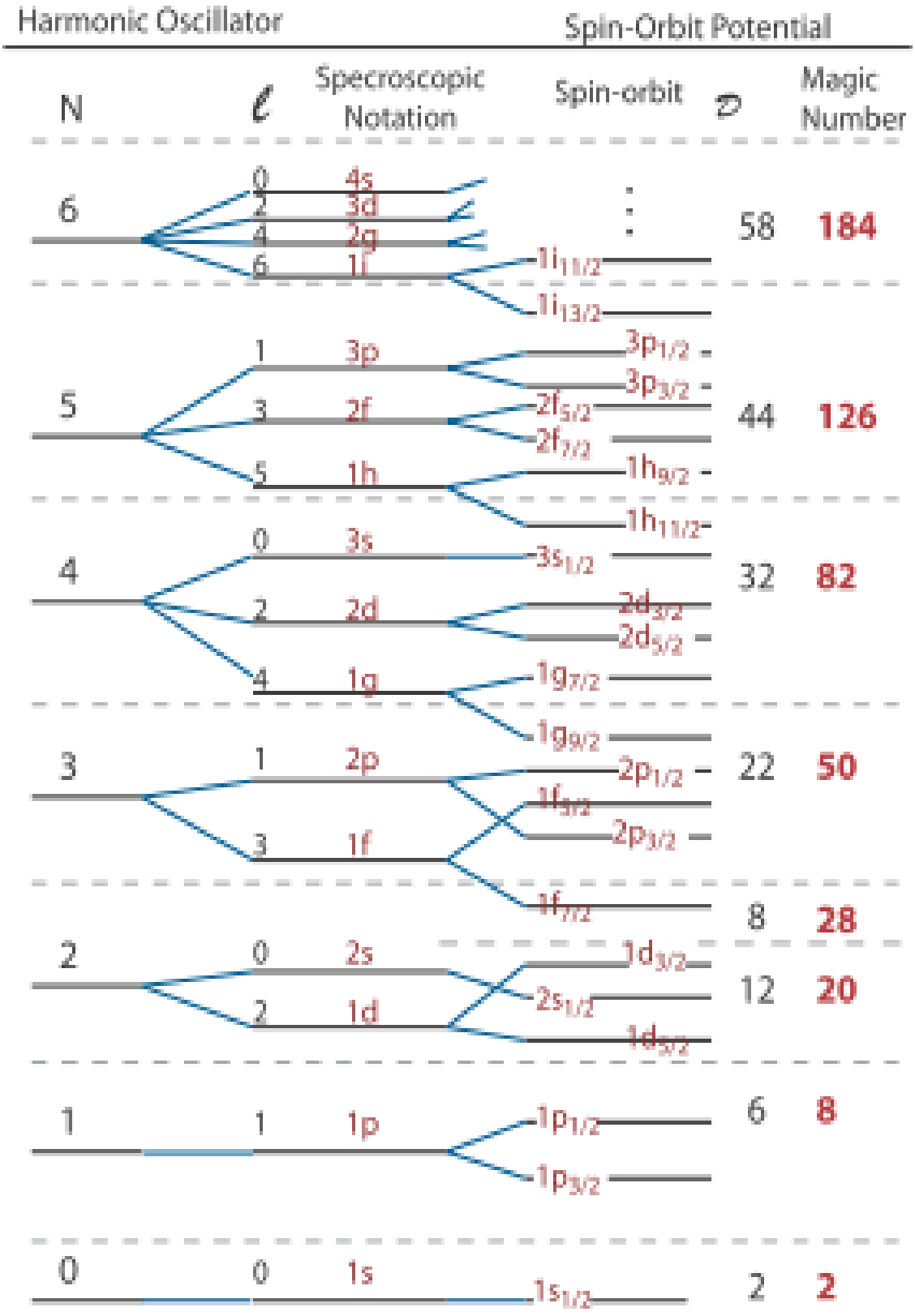
استخدام الجهود الاخرى على سبيل المثال المتذبذب التوافقي لا تعطي نتائج افضل فهناك شي مفقود .

كيف تظهر الاعداد السحرية :

العلماء توصلوا الى حقيقة انه من الضروري ادخال تفاعل برم – مدار التي قيمتها تلك التتابع في انقسام مستويات الطاقة الى مستويات ثانوية في معظم الاحيان اكبر من الانقسام المشابه في مستويات الطاقة الذرية . الصيغة الدقيقة لدالة جهد – طاقة يجب ان لا تكون حرجة (حادة) . الجهد الذي يعطي هذا هو الجهد االحائط المربع (البئر المربع) .

نظرية القشرة التي تعمل بازدواج L.S فقط للنوى الخفيفة التي فيها قيم l ضروري صغيرة في ترتيبها النووي ، وتحتوي البروم الذاتية للجسيمات S_i (مجموعة النيوترونات ومجموعة اخرى للبروتونات) مزدوجة مع بعض لبرم كلي S . الزخم المداري L_i تزدوج منفصلة مع بعض الى زخم زاوي مداري كلي L . بعد ذلك S و L تزدوج مع بعض لتكون الزخم الزاوي الكلي J بمقدار $\hbar [J(J+1)]^{1/2}$.

بعد منطقة الانتقال التي فيها تحدث ازدواج متوسط ، النوى الثقيلة تعاني ازدواج jj . في هذه الحالة S_i و L_i لكل جسيم اولا يقترنان لتكوين J_i لمقدار $\hbar V_j(j+1)$. ازدواج jj تعتبر رئيسية في النوى . عندما يكون تفاعل برم – مدار مستويات الطاقة ستكون كما في الشكل .


Harmonic Oscillator
Spin-Orbit Potential
N
ℓ
Specroscopic Notation
Spin-orbit
𝒟
Magic Number
6
0 4s
2 3d
4 2g
6 1i
1i11/2
1i13/2
58
184
5
1 3p
3 2f
5 1h
3p1/2
3p3/2
2f5/2
2f7/2
1h9/2
1h11/2
44
126
4
0 3s
2 2d
4 1g
3s1/2
2d3/2
2d5/2
1g7/2
1g9/2
32
82
3
1 2p
3 1f
2p1/2
1f5/2
2p3/2
1f7/2
22
50
8
28
2
0 2s
2 1d
1d3/2
2s1/2
1d5/2
12
20
1
1 1p
1p1/2
1p3/2
6
8
0
0 1s
1s1/2
2
2

المستويات صممت بتساوي مضبوط للاعداد الكمية الكلية n ، والحرف الذي يصنف l لكل جسيم في المستوي طبقا للنموذج المعتاد .

(s , p , d , f , g , corresponding, respectively to l=0 , 1 , 2 , 3 , 4 , ...) ، و ترميز سفلي بما ان هناك 2j+1 من الاتجاهات المسموحة لـ J_i .

فجوات طاقة كبيرة تظهر في الفاصل بين المستويات في الفترات (مسافة متوسطة) التي تكون بين القشرات والتي تكونت نتيجة ترميز القشرات المنفصلة .

عدد المستويات النووية المتاحة في كل قشرة نووية بترتيب طاقة 2 ، 6 ، 12 ، 8 ، 22 ، 32 ، و 44 .

لكن القشرات تملأ حينما تكون هناك 2 ، 8 ، 20 ، 28 ، 50 ، 82 و126 نيوترون او بروتون في النواة .

نموذج القشرة تعد لبعض الظواهر بالاضافة للاعداد السحرية . وللبدء معها وجود القشرات الثانوية للطاقة التي يمكن ان يشغلها جسيمين ببرم متعاكس تشرح انجذاب الوفرة النووية لتفضيل عدد زوجي من النيوترونات N وكذلك عدد زوجي من البروتونات Z .

نموذج القشرة ايضا يمكن ان يتنبأ بالزخوم الزاوية النووية . في النوى الزوجية – الزوجية كل البروتونات والنيوترونات يجب ان تكون ازواج لتلغي الواحدة البرم والزخم الزاوي المداري للاخرى . لذلك فهي تاخذ صفر من الزخوم الزاوية النووية ، كما هي الملاحظة .

في النوى الزوجية – الفردية و الفردية – الزوجية ، نصف عدد صحيح من البرم للنكليون المنفرد الاضافي يجب ان تتحد او تصطف مع الزخم الزاوي الصحيح لبقية النيوكليونات في النواة لتكون نصف عدد صحيح للزخم الزاوي الكلي .

النوى الفردية – الفردية كل تمتلك نيوترون منفرد وبروتون منفرد ولكل منهما نصف عدد صحيح من البرم والتي تؤدي عدد صحيح من الزخم الزاوي الكلي . وهذه التنبؤات استنتجت تجريبيا .

Dr.Malik

* calculate the spin of the nuclei $^{14}_{7}N$, $^{17}_{8}O_9$, $^{12}_{6}C_6$

first of all we must know where is the last proton or the last neutron

«It is very important to save this»

(② $1s_{1/2}$, ④ $1p_{3/2}$, ② $1p_{1/2}$, ⑥ $1d_{5/2}$, ② $2s_{1/2}$, ④ $1d_{3/2}$, ⑧ $1f_{7/2}$, ④ $2p_{3/2}$, ⑥ $1f_{5/2}$, ② $2p_{1/2}$, ⑩ $1g_{9/2}$) $A = 50$

equied with $(2j+1)$

For $^{14}_{7}N_7$ «inegrals»

p: ② $1s_{1/2}$, ④ $1p_{3/2}$, ① $1p_{1/2}$ $j_p = 1/2$

n: ② $1s_{1/2}$, ④ $1p_{3/2}$, ① $1p_{1/2}$ $j_n = 1/2$

It is odd z - odd N Nuclei

$$|j_p - j_n| \leq J \leq j_p + j_n$$
$$1/2 - 1/2 \leq J \leq 1/2 + 1/2$$
$$0 \leq J \leq 1$$

$J = 0, 1$

since the last proton or neutron in p → $\ell = 1$

then $\frac{\pi}{J} \Rightarrow \pi = (-1)^{\ell} = (-1)^{1} = -$

$\therefore \frac{\pi}{J} = \bar{0}, \bar{1}$

For $^{17}_{8}O_9$ even - odd Nuclei

so for proton

② $1s_{1/2}$, ④ $1p_{3/2}$ ② $1p_{1/2}$

For neutron

② $1s_{1/2}$ ④ $1p_{3/2}$ ② $1p_{1/2}$ ① $1d_{5/2}$ → $j_n = 5/2$ (half integral)

$\ell \Rightarrow d \Rightarrow 2 \rightarrow \pi = (-1)^{2} = +$

so $\frac{\pi}{J} = \frac{+}{5/2}$

For $^{12}_{6}C_6$ even - even nuclei

p: ② $1s_{1/2}$ ④ $1p_{3/2}$ $j_p = 0$

n: ② $1s_{1/2}$ ④ $1p_{3/2}$ $j_n = 0$

$J = 0$