الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا للأساتذة – مسعود زغار– سطيف

قسم العلوم

تخصص فيزياء

مطبوعة في مقياس الفيزياء النووية

محاضرات وأعمال موجهة

من إعداد الدكتور ذهبي العيد

السنة الجامعية: 2022/2021

الفهرس

قائمة المختصرات.....4

قائمة الجداول..... 6

قائمة الصور..... 7

المقدمة..... 9

1 - ملخص حول الخواص الأساسية للنواة الذرية: 11

- نصف قطر النواة 12

- الدفوع الزاوية، الزوجية، عزم ثنائي القطب المغناطيسي 21

- عزم رباعي القطب الكهربائي 25

2. حركية التفاعلات النووية 28

.قوانين الحفظ في التفاعلات النووية 29

- معلومات عن آليات التفاعل 30

- التفاعلات الحاصلة في مجال الطاقات غير النسبوية 31

- مقاطع التفاعل الكلية و التفاضلية 32

3- **النشاط الإشعاعي 33**

- الإصدار و التحول الداخلي و الأسر الالكترونات..... 34
- الإصدار 35
- قوانين التفكك الإشعاعي 35
- الإحصاء و العد 42

4- **نموذج قطرة السائل للنواة** 45

- الصيغة نصف التجريبية للكتلة 46
- تطبيقات على الحاصلات الطاقية 47
- معلومات على انشطار النواة 49

5- نموذج الطبقات 50

- التزاوج لف- مدار 51
- كمون المهتز التوافقي 54

- الكمون المربع 57

6- تفاعل الجسيمات مع المادة 66

- كشف الجسيمات المشحونة، وجسيمات a و Y و النترونات 66

7- الطاقة النووية 71

- الانشطار والاندماج **72**

- تبعثر وتبطئة النترونات 75
- التفاعل المتسلسل 75
- المفاعلات النووية 76
- الطاقة الحرارية النووية 81

قائمة المراجع 86

قائمة المختصرات

الرمز	اسم المختصر
R	نصف قطر النواة
A	العدد الكتلي
r_0	متوسط نصف القطر
ρ	الكتلة الحجمية
m_{p}	كتلة البروتون
m_{n}	كتلة النيترون
U	وحدة الكتل الذرية
$\vec{s}$	سبين النواة
$\vec{\imath}$	العزم الاندفاعي المداري
$\vec{J}$	العزم الاندفاعي
$\vec{I}$	العزم الكلي للنواة
$\vec{d}$	العزم الثنائي الكهربائي
q	الشحنة
$\mathbb{Q}_0$	العزم الكهربائي الرباعي
$\boldsymbol{\nu}$	النترونيو
$\bar{\nu}$	النترونيو المضاد
λ	ثابت التفكك الإشعاعي
N	عدد الأنوية المتفككة
$A(t)$	النشاط الإشعاعي
$t_{1/2}$	زمن نصف العمر
τ	متوسط العمر

α_V	حد الحجم
α_s	حد السطح
α_c	حد كولوم
α_a	حد التناظر
α_p	حد الزوجية
W	التردد الزاوي
$\hat{H}$	الهاملتوني
Ψ	دالة الموجة
E	طاقة الجسيم

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	الصفحة
الجدول1	كتل بعض الدقائق والجسيمات بوحدات مختلفة	**15**
الجدول 2	يبين قيمة العزم الكلي وقيمة السبين لبعض الأنوية	**20**
الجدول 3	يبن أنصاف الأعمار لبعض الأنوية المشعة	**37**
الجدول 4	جدول الفروق المتتالية	**42**
الجدول 5	جدول يبين القيم التجريبية لمعاملات نموذج القطرة السائلة	**46**
الجدول 6	القيم العددية لملء المسويات بالنيكليونات	**47**

قائمة الصور

الصورة /الشكل	العنوان	الصفحة
الصورة-1	منحنى بياني يمثل الكثافة النووية بدلالة نصف القطر	12
الصورة 2	مخطط توضيحي للذرة والنواة	14
الصورة 3	صورة تبين ترميز النواة ومكوناتها وعدديها الكتلي والذري	15
الصورة 4	مخطط توضيحي لتركيب النواة	15
الصورة 5	رسم توضيحي لذرتي الهيدروجين والهليوم وعدديهما الكتلي والذري	16
الصورة 6	رسم تخطيطي لواد الاستقرار ذو بعدين	18
الصورة 7	المخطط التوزيعي للأنوية المستقرة غير المستقرة على الجزء $N(Z)$	19
الصورة 8	منحنى بياني يمثل واد الاستقرار ذو ثلاثة أبعاد	20
الصورة 9	صورة توضيحية لعزم السبين الإلكترون	21
الصورة 10	العزم الكهربائي الثنائي للنواة	22
الصورة 11	العزم الرباعي المغناطيسي للنواة	24
الصورة 12	توضح الدفع الخطي	29
الصورة 13	الأنواع الثلاثة للإصدار	34
الصورة 14	إصدارات الهليوم لأشعة ألفا	35
الصورة 15	يمثل نواة مشعة	41
الصورة 16	يمثل جهاز عد نووي	61
الصورة 17	يمثل نمو نشاط البنت عندما تكون $T_1 \gg T_2$	62
الصورة 18	نمو نشاط البنت وتفكك الأم	63
الصورة 19	نمو النشاط وتفككه عند $T_2 \gg T_1$	67
الصورة 20	شكل يمثل طاقة الارتباط	69

الصورة 21	توضيح تأثير الحقل المغناطيسي على إشعاعات ألفا. بيتا. غاما	70
الصورة 22	الحقل المغناطيسي	70
الصورة 23	توضيح خصائص التأين للأشعة الثلاثة	70
الصورة 24	غرفة ويلسن وغرف التأين	71
الصورة 25	رسم تخطيطي لعداد جيجر	76
الصورة 26	شكل مبسط لمفاعل نووي	79
الصورة 27	منحنى أستون	80
الصورة 30	الانشطار المتسلسل	82
الصورة 31	الحصيلة الطاقوية للاندماج	82
الصورة 32	الطاقة المبددة عند الانشطار من رتبة 200 م إ ف	83
الصورة 33	طاقة الاندماج	83
الصورة 33	مردودية الانشطار من الناحية الطاقوية	83

مقدمة

هذه الورقات هي عبارة عن المطبوعة نجد فيها كل ما يتعلق بمقياس مادة الفيزياء النووية وهي تضم البرنامج والمقررات الرسمية لطلبة المدرسة العليا للأساتذة للسنة الرابعة من التعليم الثانوي تخصص فيزياء، كما تعتمد هذه المادة على الفيزياء الذرية الكلاسيكية وترتكز على أساسيات الفيزياء الكمية وعلى كهرومغناطيسية الحسابات الكمية بالإضافة إلى الفيزياء الإحصائية . . . الخ

ومن اجل إثراء الرصيد العلمي للغة العربية ارتأيت أن أكتب هذه المطبوعة بهذه اللغة في اختصاص الفيزياء النووية التي تحوي مجموعة من الدروس والأعمال الموجهة كمطبوعة ليستفيد منها الأستاذ الجامعي والطلبة الجامعيون وأساتذة المرحلة المتوسطة والمرحلة الثانوية وخاصة تلاميذ السنة الثالثة ثانوي -الفصل الثاني حسب البرنامج الجديد لمادة العلوم الفيزيائية.

نجد في هذه المطبوعة جمعا من محاضرات تعتمد على تفصيل الحسابات عند الضرورة وعلى الاختصار غير المخل تارة أخرى التي نرى أنها مهمة لإثراء الطالب علميا الذي سيصبح أستاذا للتعليم الثانوي في المستقبل.
لهذه المطبوعة فصولا سبعة وهي مرتبة كالآتي:

الفصل الأول عالجنا ملخص حول الخواص الأساسية للنواة الذرية مع شرح لبعض التجارب الأساسية في هذا المجال مثل تجربة رذرفورد، ثم درسنا الخواص الكمية لمكونات النواة من البروتونات والإلكترونات النيترونات والكوركات، والبنية الدقيقة للبروتونات والنيترونات وبعض الجسيمات (مفهوم الكوارك)، درسنا فيه نصف قطر النواة الدفوع الزاوية، الزوجية، عزم ثنائي القطب المغناطيسي وعزم ثنائي القطب الكهربائي كما حساب عزم رباعي الأقطاب الكهربائي ونشر رباعي الأقطاب على الهزاز التوافقي والعزم المغناطيسي النووي. كما ركزنا على حساب رباعي الأقطاب المغناطيسي الذي يمكننا من معرفة معلومات عن شكل النواة.

أما في الفصل الثاني فقد تطرقنا لحركية التفاعلات النووية بصفة عامة وشرحنا قوانين الحفظ أثناء التفاعلات النووية ومعلومات أخرى عن آليات التفاعل الطاقات الارتباط النوعية وحساب طاقات فصل البروتون والنيترون عن النواة.الطاقات الارتباط النوعية وحساب طاقات فصل البروتون والنيترون عن النواة.

في الفصل الثالث درسنا ظاهرة النشاط الإشعاعي الذي هو عبارة عن تفكك (اضمحلال) تلقائي لنواة النظير مع إصدار جسيمات نووية ألفا وبيتا وغاما، كما سنتطرق في هذا الفصل لدراسة طبيعة هذه التحولات وطاقاتها وكذا الأسر الإلكتروني الذي يشبه إلى حد بعيد التفكك بيتا سالب وعالجنا كذلك قوانين التفكك الإشعاعي من الناحية الإحصائية.

رابعا درسنا النماذج النووية بصفة عامة ونموذج القطرة السائل للنواة بصفة عامة يتميز بحد الحجم حد السطح حد كولوم حد التناظر ثم تعرضت للصيغة نصف التجريبية للكتلة وتطبيقات على الحصيلات الطاقية ثم مثلناها وسردنا عدة معلومات حول انشطار الأنوية.

أما في الفصل الخامس فقد تكلمنا عن نموذج الطبقات ورأينا كيف يتم التزاوج بين اللف والمدار ودرسنا كمون المهتز التوافقي والكمون المربع وكيفية توزع الشحنة الكهربائية للنواة.

في الفصل السادس عالجنا فيه تفاعل الجسيمات مع المادة أو تفاعل المادة مع الإشعاع و كشف كل من الجسيمات المشحونة، وجسيمات a و Y والنترونات معادلات التفاعلات النووية ومعرفة الأجسام المقذوفة والأجسام القاذفة وحساب طاقات التفاعلات النووية.

الفصل السابع والأخير تطرقنا فيه إلى التفاعلات الانشطارية والاندماجية مع إعطاء تطبيق مباشر لهذه للتفاعلات النووية من خلال التكلم عن التفاعلات النوويةمنها تبعثر وتبطئة النترونات ونذكر أهمية التبطئة في المفاعلات النووية ونفصل كيف يحدث التفاعل المتسلسل ونحدد الشروط الازمةلحدوثه ونتكلم أيضا عن المفاعلات النووية من ناحية التركيب التقني والنوعي وذكرنا الطاقة الحرارية النووية الناتجة عن هذه التفاعلات وكيفية التحكم فيها.

كما أدرجنا في نهاية كل فصل اقترحنا مجموعة من التمارين والمسائل.

الفصل الأول: ملخص حول الخواص الأساسية للنواة

1- نصف قطر النواة.

2- الدفوع الزاوية، الزوجية، عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

3- عزم رباعي القطب الكهربائي.

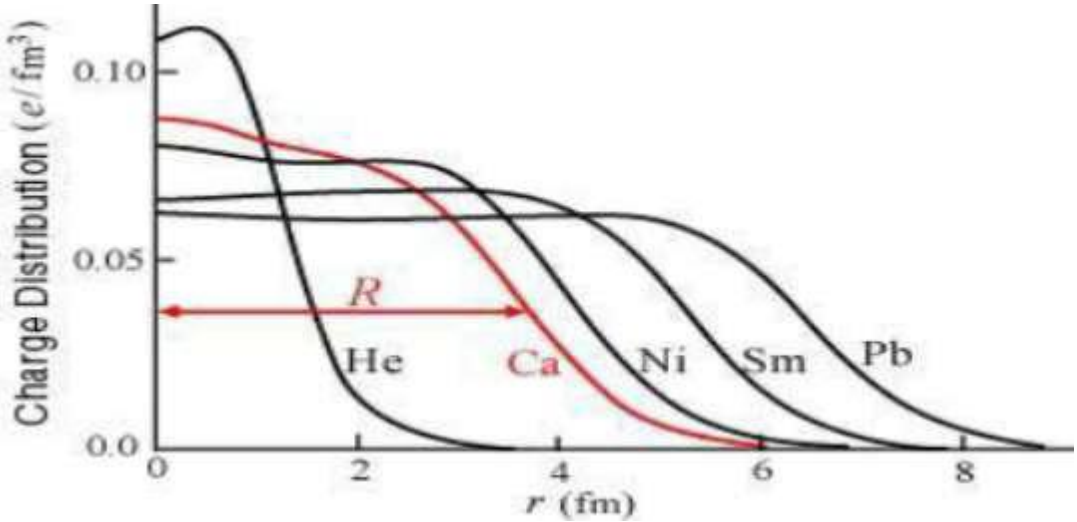
1-1- مقدمة

درسنا سابقا النماذج النووية للعالم طمسون و رذرفورد وبور في مرحلة التعليم الثانوي ونريد الآن أن نفصل في المكونات الأساسية للنواة فكان لزاما علينا أن نذكر نبذة تاريخية أو التسلسل التاريخي الذي أدى لظهور النواة بالشكل التي هي عليه في يومنا هذا حيث بدأ الظهور الحقيقي للفيزياء النووية في أواخر القرن الثامن عشر عندما اكتشف "هنري بيكرل" النشاط الإشعاعي، وبعدها قام العالم رذرفورد بوضع فرضياته بافتراض أن الذرة مكونة من كتلة موجبة الشحنة هي النواة والتي هي أصغر بكثير من قطر الذرة وتحيط الإلكترونات بهذه النواة (بحيث يكون عدد الشحنات الموجبة مساوي لعدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة)، وكما وضع العالم بور أول نموذج متكامل لحركة الإلكترونات في الذرة.وزاد الأمر اتضاحا عندما اكتشف جادويك النيترون سنة 1932.من الخواص الأساسية للنواة نصف قطرها ومكوناتها.

1 -2- نصف قطر النواة:

بينت التجارب مثل تجربة العالم رذرفورد على أن أغلب أقطار الأنوية في حدود $10^{-12}m$ بينما قطر الذرة في حدود $10^{-10}m$ ، وحتى نتمكن من معرفة العلاقة بين نصف قطر النواة وعددها الكلي وتحديد نصف قطر النواة انطلاقا من عددها الكتلي A، والبيان التالي أن نصف قطر النواة R يتناسب مع $A^{1/3}$ أي

r_0 نحدده من خلال البيان التالي:



الشكل -1- يمثل منحنى بياني الكثافة النووية بدلالة نصف القطر.

من البيان نجد $1fm = 10^{-15}m$ حيث $r_0 = 1.4fm$

إذن العلاقة بين نصف قطر النواة والعدد الكتلي لأي نواة كما يلي:

$$R = 1.4\, A^{\frac{1}{3}}$$

1-2-1- حساب حجم النواة: نستطيع حساب حجم النواة من خلال العلاقة التالية:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$= \frac{4}{3}\pi \left(r_0\, A^{\frac{1}{3}} \right)^3$$

$$= \frac{4}{3}\pi A {r_0}^3$$

ويكون حساب حجم النواة كالتالي: ومنه يعرف V بالعبارة التالية.

بعد معرفة الحجم تكون الكثافة كالتالي:

$$\rho = \frac{m_X}{V}$$

$$= \frac{A m_p}{\frac{4}{3}\pi A {r_0}^3}$$

$$= \frac{m_p}{\frac{4}{3}\pi {r_0}^3}$$

تطبيق عددي:

$$A = \frac{1.67262.\,10^{-27}}{\frac{4}{3}3.14(1.4 * 10^{-15})^3} = 1.2.\,10^{-17}\, {Kg}/{m^3}$$

ملاحظة: إن الكثافة النووية ثابتة، وإن كثافة المادة النووية ثابتة، ونرى كذلك من خلال هذه النتيجة أنه يوجد تماسك قوي جدا داخل النواة لا يمكن تفسيره إلا بوجود قوة من نوع جديد شديدة جدا وقصيرة المدى.

أما كثافة النيكليونات داخل النواة أي عدد النيكليونات في وحدة الحجم تكون كما يلي:

$$\rho = \frac{A}{V_p}$$

$$= \frac{A}{\frac{4}{3}\pi A {r_0}^3}$$

$$= \frac{1}{\frac{4}{3}\pi {r_0}^3}$$

$$= \frac{1}{\frac{4}{3}3.14(1.4 * 10^{-15})^3}$$

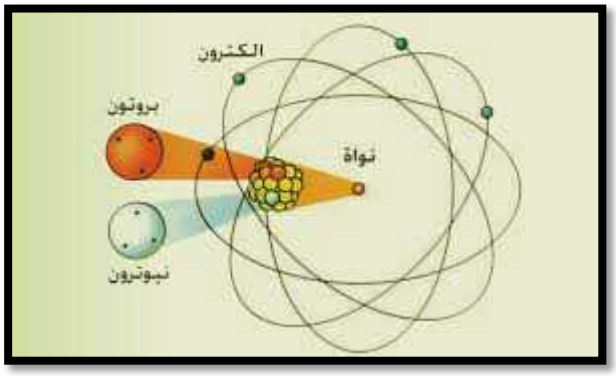
$$=10^{45} neu \,/\, m^3$$

من باب التوضيح قبل الكلام عن الخواص الأساسية للنواة وخاصة نصف القطر وغيرها تجدر بنا الإشارة لمكونات النواة وخصائص هذه المكونات لأنها ضرورية لتدرج المفاهيم.

3-1 – مكونات النواة:

3-1 - 1- البروتون : جسيم نووي يحمل شحنة كهربائية مساوية لشحنة الإلكترون ولكنها موجبة و تبلغ كتلته وهو ساكن $m_p = 1.672662 * 10^{-27} kg$ أي 1.007226 وحدة كتلة ذرية .

3-1 -2- النترون: هو جسيم نووي متعادل الشحنة الكهربائية هو بدوره يتكون من جسيمات أولية كتلته وهو ساكن تساوي تقريبا كتلة البروتون $m_p = 1.67493 * 10^{-27} kg$ أي 1.008665 وحدة كتلة ذرية.



صورة 2: مخطط توضيحي للذرة والنواة.

4-1 - خصائص النواة:

نرمز لأي نواة بالرمز ${}^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}X$ حيث:

X هو رمز العنصر الكيميائي.

Z.A. هما العدد الكتلي والعدد الشحني على التوالي

والشكل التالي يوضح مميزات النواة .

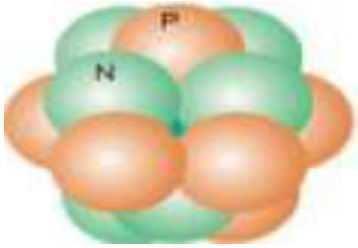
الصورة 3 تبين ترميز النواة ومكوناتها وعدديها الكتلي والذري. .

ملاحظة: يعطى العدد الكتلي Uma وهي وحدة كتلة الذرة.

4-1 – 1- العدد الكتلي A: هو مجموعة البروتونات والنيترونات المكونة للنواة وهو عدد صحيح ورمزه A .

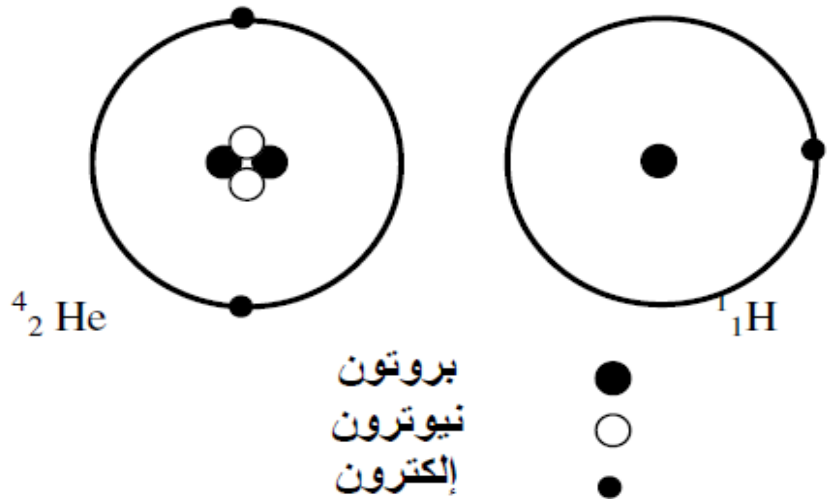
4-1 – 2- العدد الذري Z: هو عدد البروتونات ويساوي عدد الإلكترونات للذرة المتعادلة ويرمز له بالرمز Z ويعين العدد الذري الخصائص الكيمائية للذرة وبالتالي يحدد نوع العنصر.

وتتموقع كل من البروتونات والنيترونات بشكل متكدس في النواة ويفصل بين كل نيكليونين متجاورين مجموع أنصاف قطريها كما هو مبين في الشكل التالي:



الصورة -4- رسم توضيحي لتركيب النواة.

والشكل التالي يوضح رسم تخطيطي لذرتي الهيدروجين والهليوم وعددهما الذري والكتلي اللتان نحن بصدد الكلام عنهما.



الصورة -5 - رسم تخطيطي لذرتي الهيدروجين والهليوم وعددهما الذري والكتلي.

4-1 – 3- النكليونات: هو اسم يطلق على الجسيمات النووية أي البروتونات والنيترونات ومجموع عددها هو العدد الكتلي إذن فهو مسمى مشترك لكل من البروتونات والنيترونات.

4-1 – 4- النظائر: تحتوى نواة العنصر الواحد على عدد نفسه من البروتونات إلا أنه يمكن أن تختلف فيما بينها في عدد النيترونات وهذا يعني أن لعنصر واحد لا تتغير في حين يتغير ويقال في هذه الحالة أن للعنصر الواحد عدة نظائر .فمثلا الهيدروجين له ثلاث نظائر .

يوجد لكل عنصر نظائر تصل أحيانا إلى أكثر من نظير، تكون نوى بعض العناصر مستقرة بينما أنواع أخرى غير مستقرة وقابلة للتفكك بإصدار إشعاع نووي بأشكاله الثلاثة.

ويتواجد العنصر في الطبيعة على شكل خليط لبعض النظائر بنسب مختلفة مثل:

4-1 – 4-1- الايزوبارات: وهي التي يكون لها نفس العدد الكتلي وتختلف في عدد البروتونات والنيترونات.

4-1 – 4- 2- الايزوتونات: وهي التي يكون لها نفس العدد الشحني وتختلف في عدد الكتلي والنيترونات.

4-1 – 4- 3- الايزوتوبات: وهي التي يكون لها نفس عدد البروتونات وتختلف في العدد الكتلي والشحني.

النوى المتماثلة: وهي التي لها نفس العدد الكتلي ولكنها تتعاكس في العدد الذري وعدد النيترونات أي عدد البروتونات في النواة الأولى يساوي عدد النيترونات في الثانية والعكس صحيح مثال: $^{17}_{8}O$ الأوكسجين $^{17}_{9}F$ والفلور

4-1 – 5- الوحدات المستعملة في الفيزياء النووية: نستعمل في مادة الفيزياء وحدات النظام الدولي (SI) أما في الفيزياء النووية فنستعمل وحدات خاصة.

فمثلا: انتقال الإلكترون من مدار إلى أخر هي من رتبة جول هي صغيرة جدا بحيث يصبح غير ملائم استعمال وحدات (SI) ولذا نستبدل وحدة الجول بوحدة خاصة وهي ev حيث $1ev = 1.60217 * 10^{-19}$ *Joule*. .

- **وحدة الكتل الذرية** :بما أن كتلة الذرة صغيرة جدا فما بالك بكتلة النواة، يستحسن استعمال وحدة جديدة والتي تسمى وحدة الكتل الذرية ونرمز لها بـ Uma وتجدر بنا الإشارة بأن لكل جسيم كتلة كما هو مبين في الجدول التالي:

الجسيم	Uma	Kg	Mev/c²
الالكترون	$5.48579.10^{-4}$	$9.10939.10^{-31}$	0.510999
النيترون	1.008665	$1.67493.10^{-27}$	939.57
البروتون	1.007276	$1.67262.10^{-27}$	938.28
ذرة الهيدروجين	1.007825	$1.67353.10^{-27}$	938.783
نواة الكربون	12.000000	$1.99265.10^{-27}$	11177.9

الجدول -1 - كتل بعض الدقائق والجسيمات بوحدات مختلفة.

5-1 - القوة النووية القوية:

هي القوة التي تسمح ببقاء النواة متماسكة، و تتميز بالخصائص التالية:

1- القوى النووية لا تعتمد على ماهية النيوكليونين المتجاذبين، سواء أكانا بروتونين أم نيوترونين أم بروتوناً ونيوتروناً.
2- القوى النووية قصيرة المدى: فهي تتلاشى عندما يصبح البعد بين النيوكليونين أكبر من 1.4×10^{-15} وهذا معناه أن النيوكليون في الأنوية الكبيرة لا يرتبط بجميع نيوكليونات النواة بل يرتبط فقط بالنيوكليونات المحيطة به ضمن كرة نصف قطرها 1.4×10^{-15} م.
3- لا تخضع هذه القوة لقانون التربيع العكسي.

1-5-1 - واد الاستقرار:

يعتبر وسيلة بيانية مهمة في تحديد خصائص النواة واستقرارها، ويمثل مجموعة النوى المستقرة على المخطط N(Z) ، حيث أن:

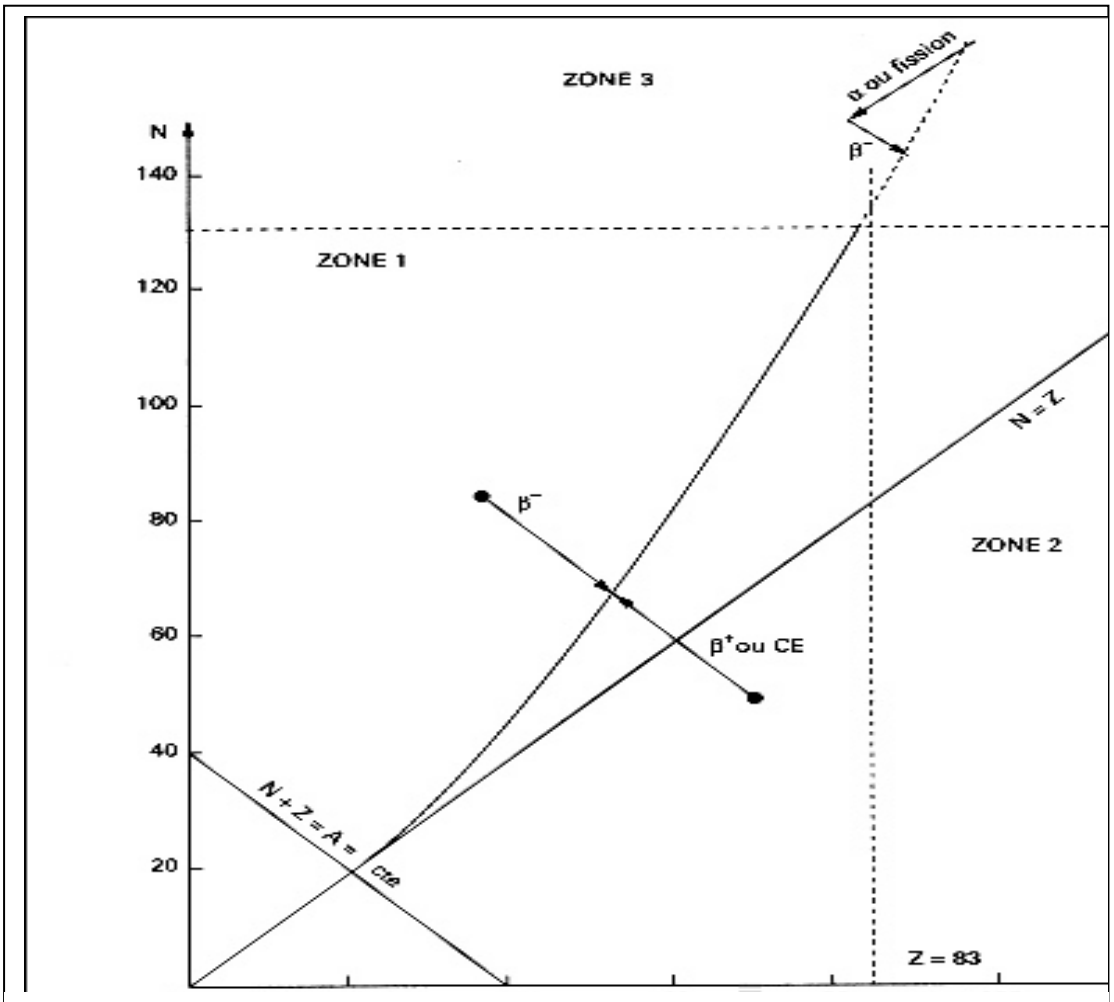
النوى التي من اجلها N أوZ يساوي 20.8.2 ، 126،50،82 (وهي ما يسمى بالأعداد السحرية) لها استقرار كبير .

ومن أجل A صغير، فإن الأنوية الحقيقية الأكثر استقرارا هي التي من أجلها يكون N = Z ، أي الجزء من واد الاستقرار الذي يضم الأنوية الخفيفة المستقرة ينطبق على المستقيم N = Z.

من أجل A كبير نجد أن N > Z، لأن الأنوية الثقيلة لها ميل إلى زيادة النيترونات أكثر من البروتونات لأن زيادة النيترونات تزيد في تماسك النواة بعكس البروتونات التي تزيد من قوة التنافر الكهربائي.

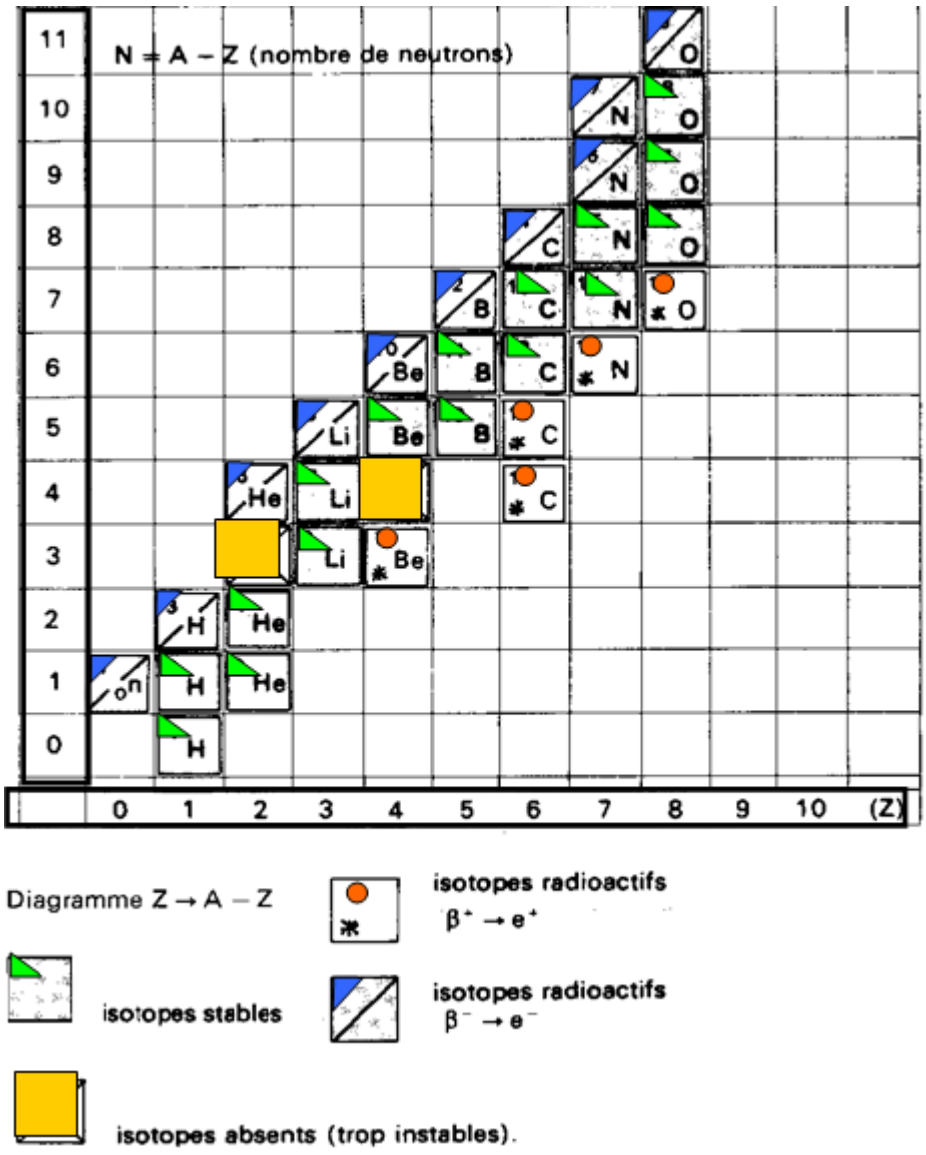
وبالنسبة للأنوية غير المستقرة يمكن تمييز ثلاث مجموعات، وذلك حسب وضعيتها بالنسبة لواد الاستقرار:

- في أعلى الوادي: توجد الأنوية غير المستقرة الثقيلة جدا، تصدر جسيمات α لترجع الى مجال الاستقرارية.
- على يسار وادي الاستقرار : الأنوية غير المستقرة تصدر جسيمات β^-
- على يمين وادي الاستقرار: الأنوية غير المستقرة تصدر جسيمات β^+



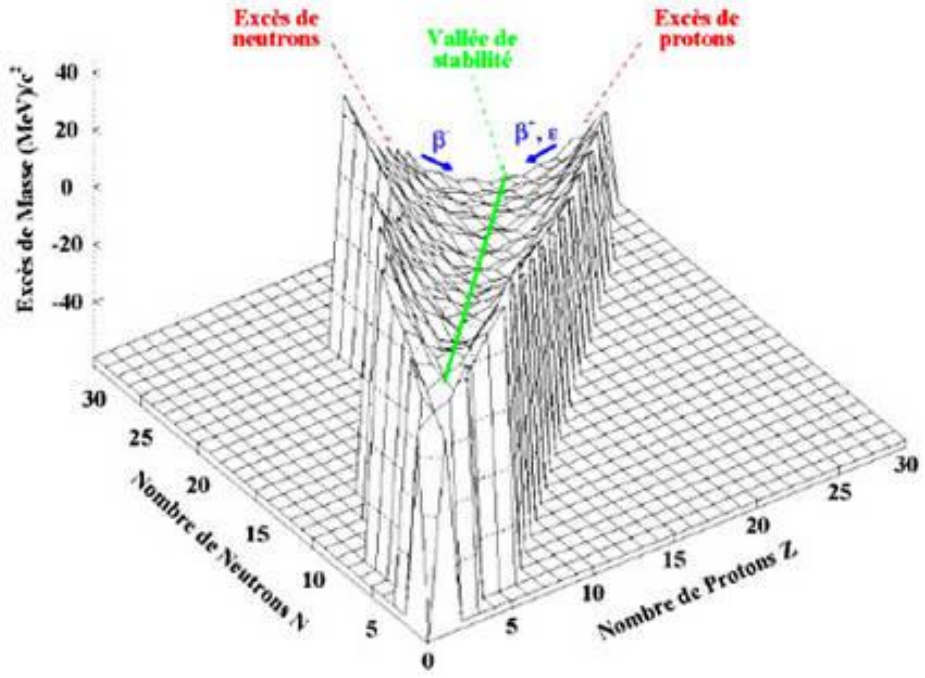
الشكل -6- **رسم تخطيطي لواد الاستقرار ببعدين.**

نقترح الشكل أسفله الذي يمثل رسم تخطيطي لتوزيع الأنوية المستقرة والأنوية غير المستقرة بالنسبة لجزء من وادي الاستقرار ، و الذي يوضح نوع التفكك الإشعاعي الذي تتعرض له كل نواة غير مستقرة.



الشكل -7- مخطط توزيع الأنوية المستقرة وغير المستقرة على جزء N(Z)

وفيما يلي نقترح الشكل أسفله الذي يمثل رسم تخطيطي لواد الاستقرار في الفضاء، وتتجلى الفائدة من هذا الشكل في أنه يوضح سبب تسميته واد الاستقرار وذلك لأنه حقا يشبه الوادي. .



الشكل -8- المنحنى البياني يمثل واد الاستقرار ذو ثلاث أبعاد. .

2-1- الدفوع الزاوية، الزوجية، عزم ثنائي القطب المغناطيسي:

2-1-1- مقدمة: من أجل معرفة معلومات أكثر عن النواة وشكلها لابد من معرفة السبين والعزوم المغناطسية للنواة والتي من خلالها أيضا نتعرف بترف على البنية الدقيقة لسويات الطاقة.

2-1--2-سبين النواة والإلكترون:

بالنسبة للإكترون له عزم اندفاعي مداري أثناء حركته حول النواة وله أيضا عزم اندفاعي سبيني ولكي تكون الصورة أكثر وضوحا تجدر بنا الإشارة إلى أنها تشبهه حركة الأرض حول الشمس، فهي تملك عزما اندفاعيا مداريا وبدورانها حول نفسها فهي تملك عزم اندفاعي سبيني كما موضح في الشكل التالي: .

الصورة -9 - توضيحية للعزم السبيني للإلكترونات

إن للإلكترون سبين قدره:

$$|\vec{S}| = \frac{1}{2}\hbar$$

ونقول أيضا أن السبين خاصية كوانتية نسبوية.

إن لكل من البروتون والنترون سبينا يساوي 1/2 وإن لكل من هذين النيكليونيين عزما اندفاعيا مداريا نرمز له بالرمز $\vec{l}$ إذن يمكن أن نعبر عن العزم الاندفاعي الكلي بالعلاقة التالي:

$$\vec{l} + \vec{s} = \vec{j}$$

2-1-3- العزم الكلي للنواة:

العزم الكلي للنواة هو ناتج عن مجموع العزوم الاندفاعية للنكليونات كل واحد منفصل على حده كما في العلاقة التالية:

$$\sum_{i=1}^{A} \vec{j}_i = \vec{I}$$

حيث $\vec{I}$ هو العزم الكلي للنواة

يكون العزم الكلي للنواة التي تملك عددا كتليا فرديا يكون عدد فردي من 1/2.

يكون العزم الكلي للنواة التي تملك عددا كتليا زوجيا يكون عدد زوجي من 1/2.

ملاحظة: بينت النتائج التجريبية أنه بالنسبة للأنوية المستقرة التي يكون عدد نيكليوناتها فردي لا يتعدى عزمها الكلي 9/2. أما الأنوية المستقرة التي يكون عدد نيكليوناتها زوجيا تكون أقل أو يساوي 5. والنوى الزوجية-زوجية يكون عزمها الكلي معدوما. لأن عزوم النيكليونات متساوية ومتعاكسة مثنى مثنى.

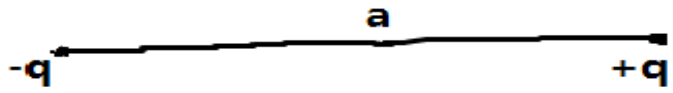
ونلاحظ في الجدول التالي بعض قيم السبين والعزم المغناطيسي لبعض النوى الخفيفة:

النواة	العزم الكلي $(\hbar)$	قيمة السبين
H^2	1	+0.857407
H^3	1/2	+2.97884
He^3	1/2	-2.127544
He^4	0	----------
Li^7	1	+0.822008
Li^6	3/2	+3.256310

الجدول -2- يبين قيمة العزم الكلي وقيمة السبين لبعض الأنوية.

1-3- العزم الكهربائي الرباعي للنواة:

1-3-1- تعريف: العزم الثنائي الكهربائي الثنائي للنواة هو مقدار تتمتع به جملة مكونة من شحنتين نقطتين متساويتين، المسافة بينهما ثابتة تكون بالشكل التالي:



الشكل -10- يمثل العزم الكهربائي الثنائي للنواة.

ونعبر عن العزم الثنائي الكهربائي للثنائي القطب الممثل في الشكل السابق بالعلاقة الرياضية التالية:

$$d = q.a$$

d هو العزم الكهربائي الثنائي.

q هي الشحنة.

a هي المسافة الفاصلة بين الشحنتين. .

يمكن أن يتكون ثائي القطب من شحنتين موجبتين أو سالبتين أو مختلفتين في الإشارة ويمكن أن يتكون أيضا من شحنة متعادلة وأخرى غير صفرية، وذلك بوضع الجملة بحقل كهربائي، وبتأثير ذلك الحقل تدور الشحنة الغير صفرية (موجبة أو سالبة) حول مركز ثقل القطبين.

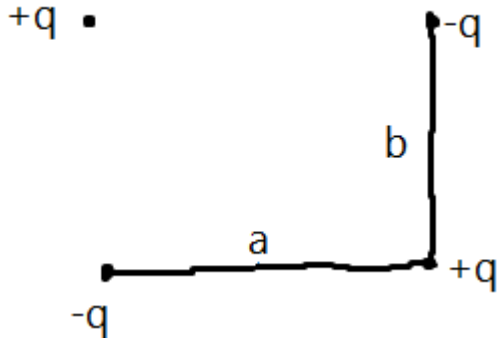
واستنادا على ما ورد في الفقرة السابقة؛ فإن النواة تكون في إحدى الحالتين:

الحالة الأولى: العزم الثنائي الكهربائي يكون معدوم في الحالة الأساسية وهذا نتيجة قانون إنحفاظ الزوجية وهذا مثبت تجريبيا.

الحالة الثانية: حالة عدم الانطباق المركزي لثقل البروتونات والنترونات يكون للنواة عزم كهربائي ثنائي غير معدوم.

4-1 - عزم رباعي القطب الكهربائي.

4-1- تعريف: يعرف العزم كهربائي الرباعي للنواة بأنه معيار حيود توزع الشحنات الكهربائية للنواة عن التوزع الكروي المتناظر. ويتكون رباعي القطب من قطبين متماثلين وموجهين توجيها متعاكسا ومركزهما منزاحيين عن بعضهما كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل -11 - شكل يمثل العزم الرباعي المغناطيسي.

يمكن أن نعبر عنه رياضيا بالعلاقة التالية:

$$\mathbb{Q}_0 = 2qab$$

إذا كانت لدينا نواة تكسب شحنة لها محور تناظري وكثافة شحنتها ρ يمكن أن نكتب العزم الرباعي لها كما يلي:

$$\mathbb{Q}_0 = \iiint (3Z^2 - r^2)\rho \, dr$$

dr. هو الحجم العنصري.

r. نصف القطر .

ملاحظة: إذا كانت كثافة الشحنة ثابتة لا تتعلق بالمتغيرات الموجودة بالتكامل السابق نعين العزم الرباعي الكهربائي من شكل النواة.

مثال : إذا كانت النواة على شكل قطع ناقص دوراني يكون العزم الكهربائي لها حسب المعادلة التالية:

$$\mathbb{Q}_0 = \frac{2}{5} Z\, e\, (b^2 - a^2)$$

حيث هي أنصاف أقطار الأولى في جهة z و والثانية في الاتجاه المعامد لها.

تمرينات الفصل الأول :

1. - ما هي الطاقة التي يجب بذلها لانتزاع نيكليون من النواة ؟
2. - أرسم رسما تخطيطا يمثل ذرات العناصر التالية: $^{3}_{1}\mathrm{H}$ $^{9}_{4}Be$ $^{14}_{6}C$
3. ما هي كتلة الإلكترون بوحدة الميغا إكترون فولط .
4. ما هو نصف قطر نواة الراديوم 226 ؟
5. تنقسم نواة ذات عدد كتلي A إلى نواتين في عملية انشطار نووي يساوي العدد الكلي لأحدها العدد الكتلي للنواة الأخرى عين نصف قطر كل منها **المعطيات** . A=235.
6. ما هو النكليد المستقر الذي له نصف قطر النكليد Os^{189} .
7. ما هي طاقة التنافر الكولوني بين بروتوني $^{3}_{2}He$ إذا إفترضنا أن المسافة الفاصلة بينهما هي نصف قطر نووي.
8. - أحسب طاقة الارتباط النووي للنكليد $^{39}_{19}K$ علما أن: $M(^{39}_{19}K) = \quad 38.963710\mathrm{u}$
9. - أوجد طاقة الارتباط النووي للنكليد $^{3}_{2}He$ طاقة الارتباط النووي للنكليد $^{3}_{1}He$.

   ماذا تستخلص من النتيجة ؟

- **المعطيات :**

$$M(^{3}_{1}H) = 3.016050\ \mathrm{u} \quad M(^{3}_{2}H) = 3.016030\ \mathrm{u}$$

10 - ما هي الطاقة الارتباط النووي للنكليد $^{12}_{6}C$ ماهي طاقة ارتباط البروتون ماهي طاقة إرتباط النترون.

المعطيات:

$$M(^{11}_{5}B) = 11.009305\ \mathrm{u}$$

11 إن طاقة الارتباط النوعية في نواة $^{238}_{92}U$ تساوي $-7.5\ MeV$ بينما تساوي $-\ 7.5\ MeV$ في نواة تساوي نصف كتلة هذه النواة.

1- أحسب الطاقة الحركية الناتجة عند انقسام نواة $^{238}_{92}U$ إلى نواتين متساوتين.

2- بماذا تفسر ارتفاع طاقة الارتباط النوعية في نواتج الانقسام. .

12 أوجد طاقة الارتباط النوعية لكل من النيكليدات التالية ثم قارن بينهما.

أولا:

- أ $^{11}_{5}C$ حيث $M(^{11}_{5}C) = 12.000000\ \mathrm{u}$
- ثانيا $^{4}_{2}He$ حيث $M(^{4}_{2}He) = 4.002603\ \mathrm{u}$ ..
- ثالثا $^{40}_{20}Ca$ حيث $M(^{40}_{20}Ca) = 39.962589\ \mathrm{u}$ -
- رابعا ا $^{202}_{80}Hg$ حيث $M(^{202}_{80}Hg) = 201.970642\ \mathrm{u}$.

13 قيست بدقة طاقة الارتباط النوعية لكل نكليد من النيكلليدات التالية:

$^{4}_{2}He$. $^{14}_{7}N$. $^{16}_{8}Hg$ فكانت النتائج كالتالي : $-\ 6.82\ MeV$ $-\ 7.22\ MeV$

$-\ 7.51\ MeV$

المطلوب حساب كتلة هذه النيكلليدات بوحدة الكتل الذرية u .

14 المطلوب في هذا التمرين هو:

- -عين الكثافة التقريبية للمادة النووية بفرض أن كتلة النواة هي مجموع كتل مكوناتها حيث:

$$m_{\mathrm{p}} = 1.67.10^{-27}\mathrm{kg}$$

- كتلة الأرض تبلغ $m_{\mathrm{T}} = 5.98.10^{24}\mathrm{kg}$ لو كانت هذه الكتلة كتلة نووية كم يكون نصف قطره ؟ قارنه مع نصف القطر الحقيقي للأرض الذي يقدر بـ $R_{\mathrm{T}} = 6.38.10^{6}\mathrm{m}$.

الفصل الثاني: حركية التفاعلات النووية.

1-.قوانين الحفظ في التفاعلات النووية.

2- معلومات عن آليات التفاعل.

3.التفاعلات الحاصلة في مجال الطاقات غير النسبوية.

4 -مقاطع التفاعل الكلية والتفاضلية.

-1-.قوانين الحفظ في التفاعلات النووية.

1-1 - **مقدمة:** إن التفاعلات النووية التي تحدث على مستوى النواة تكون ناتجة عن إثارة أو سعي النواة إلى الاستقرار. وتكون فيه النواة الأم والنواة البنت ونواتج معها أو يتكون على شكل انشطار نواة ثقيلة إلى نواتين خفيفتين أو اندماج نواتين خفيفتين بتكوين نواة أثقل. وفي هذه التفاعلات لابد من الحفاظ على العدد الكتلي والعدد الشحني والفرق بين الكتلتين يكون في شكل طاقة، لأن الكتلة والطاقة هنا وجهان لعملة واحدة كما يقول ألبرت أنشتاين. ويحفظ الدفع الخطي والزاوي.

1-2 الكميات الفيزيائية المحفوظة في التحولات النووية:

1-2-1- **إنحفاظ عدد النيكليونات** : يجب أن يحفظ عدد النيكيونات قبل وبعد التحول كما في التحول التالي:

$$ {}^{a}_{z}A + {}^{b}_{k}B \longrightarrow {}^{c}_{l}C + {}^{d}_{h}D $$

يجب أن يكون:

$$a + b = c + d$$

$$z + k = I + h$$

1-2-2- **إنحفاظ الشحنة:** تكون الشحنة في طرفي التحول متساوي.

1-2-3 - **إنحفاظ الدفع الخطي:** يكون الدفع الخطي لطرفي التحول متساوي كما في الشكل التالي:

$$X \longrightarrow Y + Z$$

إذا كان الجسم X ساكن فإن مجموع الدفوع الخطية لكل من $Y + Z$ يكون معدوم .

أي :

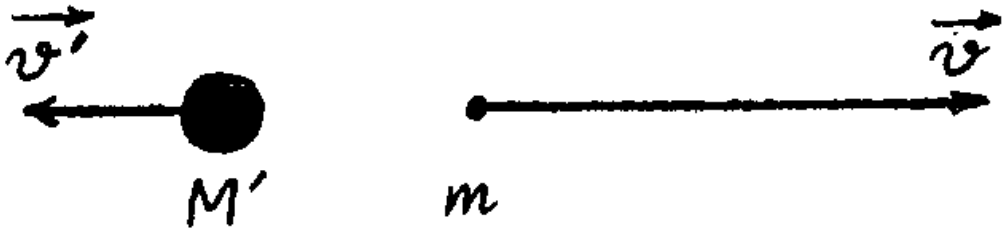
$$m_y \ \vec{V}_y + m_z \ \vec{V}_z = 0$$

ونفسر هذه العلاقة بأن الجسمين الناتجين سوف ينطلقان بسرعتين مختلفتين في الاتجاه اي:

$$\vec{V}_z = - \frac{m_y}{m_z} \ \vec{V}_y$$

وعليه إذا كانت كتلة Y أكبر بكثير من كتلة Z فإن سرعة Z أكبر بكثير من سرعة Y.

والشكل التالي يمثل مخطط للدفع الخطي.



صورة 12: توضح الدفع الخطي.

2-1 -4- إنحفاظ الطاقة:

قبل الكلام عن إنحفاظ الطاقة يجب أن نشرح طاقة النواة وطاقة الربط لكل نيكليون.

2-1-5- إنحفاظ السبين:

إن السبين كمية فيزيائية يجب أن يكون ثابتا في الجملة المعزولة. كما هو الشأن في مجموع القوى للجملة المعزولة ميكانيكيا.

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{F_i} = 0$$

3-- معلومات عن آليات التفاعل:

كما هو معلوم سابقا أن النواة تتكون من بروتونات موجبة الشحنة ونترونات عديمة الشحنة وكتلة كل نوع منهما متقاربتان. وحسب قانون كولون فإن البروتونات المتشابهة الشحنة تنشأ فيما بينها قوة تنافر شديدة جدا مجالها أنصاف الأقطار. ونستطيع إثبات ذلك بعمليات حسابية. وبناءا على ما سبق نقول أن النواة لا تتماسك بل تتنافر وتفنى.

ولكن الحقيقة عكس ذلك إن النواة متماسكة تماسكا شديدا يعني هذا أن هناك قوى تجاذب أخرى أقوى من قوى التنافر الحادثة من تشابه الشحنة. وتسمى هذه القوى بالقوى النووية وهي تكون بين مخلف مكونات النواة مهما اختلفت مميزاتها ثابتة القيمة. وتتراص هذه النيكليونات فيما بينها مشكلة النواة بفضل هذه القوة التي يكون مداها صغير جدا وتأثيرها قوي جدا. .ومن المعلوم أن مجموع كتل مكونات النواة أكبر من كتلة النواة والفرق هو طاقة الترابط لأن في هذا المستوى الكتلة والطاقة وجهان لعملة واحدة.

كتلة ترابط النواة هي الفرق بين كتلة مكونات النواة وكتلة النواة كما هو موجود في المعادلة التالية:

$$B = (N\,M_N + Z\,M_P - M)C^2$$

يجب أن يكون مجموع الطاقات الحركية للطرف الأيمن يساوي مجموع الطاقات الحركية للطرف الأيسر .

$$X - - - - - \rightarrow Y + Z$$

$$M_X C^2 = M_Y C^2 + M_Z C^2$$

4- التفاعلات الحاصلة في مجال الطاقات غير النسبوية:

4-1- مقدمة: يحدث التفاعل النووي بين النواة والجسيمات الواقعة ضمن مجال تأثيرها ويكون ضمن هذا نواتان أحدهما خفيفة والأخرى ثقيلة أو جسيم ونواة. وينتج عن هذا التفاعل نواتان جديدتان أو عدد أكثر من الجسيمات والنوى وتجرى هذه التفاعلات في الشروط المخبرية الهدف هو نواة ثقيلة وتقذف بجسيمات أخف. ولابد في هذه التفاعلات من حفظ كل من عدد النيكليونات والشحنة والدفع الزاوي أيضا. وإسنادا على قوانين الحفظ في التفاعلات النووية نستطيع بعض المعلومات عن آليات التفاعل وبعض الموصفات للنواتج.

أول تفاعل نووي أكتشف هو ما شاهده رذرفود سنة 1919 عندما قذف أنوية الآزوت بجسيمات ألفا الصادرة من انوية البولونيوم، وكانت طاقة جسيمات ألفا أكبر من الحاجز الكوموني لنواة الآزوت. وعليه تستطيع الجسيمات ألفا النفوذ بسهولة. وحدث خلال هذه العملية تفاعلا نوويا أدى إلى تشكيل أنوية الأكسجين 17 والبروتونات، وهذا برهان تجريبي على وجود البروتونات في النواة. إن دراسة التفاعلات النووية تعطينا معلومات أكثر تفصيلا ودقة عن مكونات النواة، وإن من نواتج هذه التفاعلات العناصر المشعة التي تستخدم في مجالات الطب والصناعة والاتصالات والفلك وغيرها.

تتم كتابة التفاعلات النووية شأنها شأن التفاعلات الكيميائية فتكتب الأنوية المتفاعلة في الطرف الأيسر والأنوية الناتجة في الطرف الأيمن.

إن سرعة التفاعلات النووية تكون أقل بكثير من سرعة التفاعلات الكيميائية وهذا للأسباب التالية:

- **أولا :** أبعاد النواة أصغر بكثير من أبعاد الذرات.
- **ثانيا:** تلاقي الأنوية ضروري لحدوث التفاعل النووي ومنه أن احتمال تلاقي الذرات أكبر بكثير من احتمال تلاقي الأنوية.
- **ثالثا:** أن الانوية محاطة بحواجز كومونية كبيرة جدا.

ولكي نتغلب على الحواجز الكومونية العالية للأنوية نقوم برفع درجة الحرارة بعشرات الملايين الدرجات فتتزايد الطاقة الحركية الحرارية وعندها يزيد احتمال وقوع التفاعلات الحرارية النووية، ولكي نتمكن من زيادة احتمال حدوث التفاعل النووي يمكن أن نستخدم جزيئات مشحونة تسرع باستعمال المسرعات التي تزيد من طاقة الجزيئات المشحونة قصد جعلها تتغلب على الحواجز الكومونية للأنوية.

4 -مقاطع التفاعل الكلية و التفاضلية :

الاشعة غاما هي الفوتونات التي تصدرها الانوية خلال عملية الاثارة أي تنتقل النواة من حالة الاثارة إلى حالةالإسقرار أو أقل إثارة .

عند سقوط حزمة متوازية من إشعاعات أكس وجاما على المادة الممتصة تتفاعل الفوتونات مع المادة أي ذرات المادة بإحدى العمليات الثلاثة :

وذلك بامتصاص طاقته بالكامل وفنائه مثل عمليتي التأثير الكهروضوئي أو إنتاج الأزواج أو بنسبة تشتت وانحراف عن مساره مثل تأثير كومتون وهذه الأنواع تختلف اختلافا جوهريا فيما بينها .

الفعل الكهروضوئي : وخلاله يفقد الالكترون طاقته بالكامل و يمنحها لإلكترون شديد الإرتباط بنواة الذرة أي لأحد إلكترونات المدارات الداخلية فينطلق هذا الالكترون تاركا ذرته ويسمى هذا بالإلكترون الكهروضوئي .

الفصل الثالث: النشاط الإشعاعي

- الإصداروالتحول الداخلي.
- اسرالإلكترونات.
- الإصدار.
- قوانين التفكك الإشعاعي.
- الإحصاء والعد.

1- الإصداروالتحول الداخلي:

1-1- مقدمة:

قبل الكلام عن التحول الداخلي يجب أن نذكر أنه ينتج عن الإشعاع جاما انطلاق أحد إلكترونات الطبقة الأولى أو الثانية أو الثالثة دون أن يخرج فوتون جاما المنبعث من النواة خارج الذرة. في هذه الحالة لا يسجل فوتون جاما كناتج لتفكك جاما إنما يسجل إلكترون بطاقة محددة تساوي طاقة فوتون جاما مطروح منها طاقة ترابط إلكترون في الطبقة المحددة.

1-2- تعريف:

إلكترونات التحول الداخلي: وهي الإلكترونات المنطلقة من الطبقات الثلاثة الأولى نتيجة للإصدار جاما للنواة. وتظهر هذه الإلكترونات في صورة خط رفيع محدد الطاقة للإلكترونات فوق طيف الإلكترونات الناتج عن الإصدار بيتا.

بالنسبة للإلكترونات القريبة من النواة أي التي تنتمي إلى الطبقات الثلاث المجاورة لها يمكن أن تتلقى طاقة الإثارة من النواة. ونقول عن هذا الإصدار أنه إصدار جاما من إلكترون التحول الداخلي.

ملاحظة:

إن طاقة الإلكترونات الناتجة عن التحول الداخلي تماثل طاقة إلكترونات الأثر الكهروضوئي الصادر من النواة. ولا نستطيع التميز بين إلكترونات التحول الداخلي وإلكترونات الأثر الكهروضوئي الداخلي.

يمكن أن نعبر عن الطاقة المذكورة كما يلي:

$$E_{\mathrm{e}} = \mathrm{E}_{\gamma} - \mathrm{B}_{\mathrm{e}}$$

E_{e} طاقة الإلكترون المنطلقة.

E_{γ} طاقة فوتون جاما.

B_{e} طاقة الترابط للإلكترون.

2-1- الأسر الإلكترونات:

يمكن أن يحدث تحول أحد بروتونات النواة إلى نترون بطرقة أخرى بخلاف المذكورة في التفكك البوزتروني ويتم ذلك بأن تأسر النواة إلكترونا من الإلكترونات المدارية القريبة من النواة أي من المدار الأول وقليل من المدار الثاني. ويتحد هذا الإلكترون المأسور مع أحد بروتونات النواة دون إصدار جسيم بيتا ويعرف تفكك بيتا في هذه الحالة بالأسر الإلكتروني ولعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$ {}_{-1}^{0}e \; + \; {}_{1}^{1}P \; \longrightarrow \; {}_{1}^{0}n $$

وعليه توجد ثلاث أنواع لتفكك بيتا هي التفكك الإلكتروني بيتا (-) والبيزتروني β^{+} والأسر الإلكتروني.

ملاحظة:

1- في حالة الأسر الإلكتروني لا تصدر النواة جسيمات بيتا.

2- عند حدوث أي تفكك بيتا تصدر النواة جسما يعرف باسم النترونيوا.

تعريف النترونيوا: هو عبارة عن جسيم متعادل كهربائيا كتلته السكونية معدومة.

- وبناء على ما سلف يمكن تلخيص تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع كما يلي :

- تفكك إلكتروني $\quad {}_1^1n \longrightarrow {}_1^1P + \beta^- + \nu^-$

- تفكك بوزيتروني $\quad {}_1^1P \longrightarrow {}_1^0n + \beta^+ + \nu$

- أسر إلكتروني $\quad {}_{-1}^0e + {}_1^1P \longrightarrow {}_1^0n + \nu$

تعريف النترونيوا الضاد ν^- : هو الجسيم الذي إذا تلاقى مع جسيمة وهما يسيران بسرعة منخفضة نسبيا فيفنيان بعضهما البعض كليا وينتجان إشعاعا كهرومغناطيسيا يدعى الإشعاع جاما.

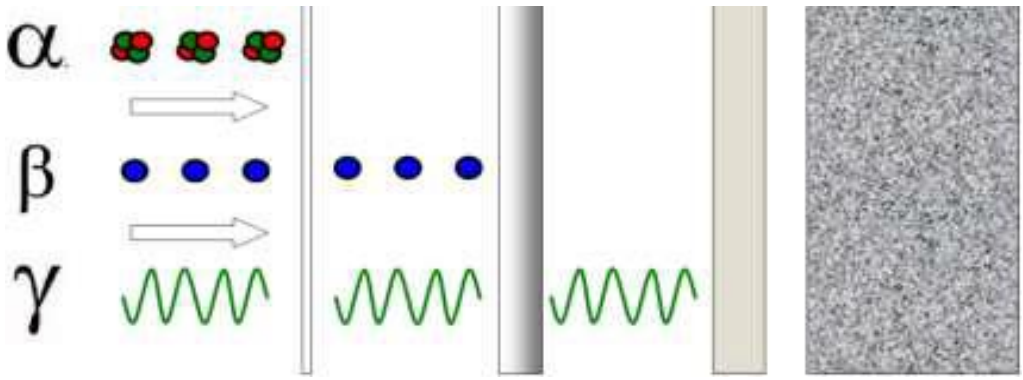
3- الإصدار

3-1 – مقدمة:

يوجد في الطبيعة أنوية تصدر أشعة طبيعيا دون أي تأثر خارجي وذلك لرغبتها في الوصول إلى الاستقرار أخرى يكون إشعاعها صناعيا. ولكن السِؤال المطروح: ما هي أنواع الإصدارات وكيف تتم المعالجة الرياضية لهذه الإصدارات.

3-2- الإصدارات النووية:

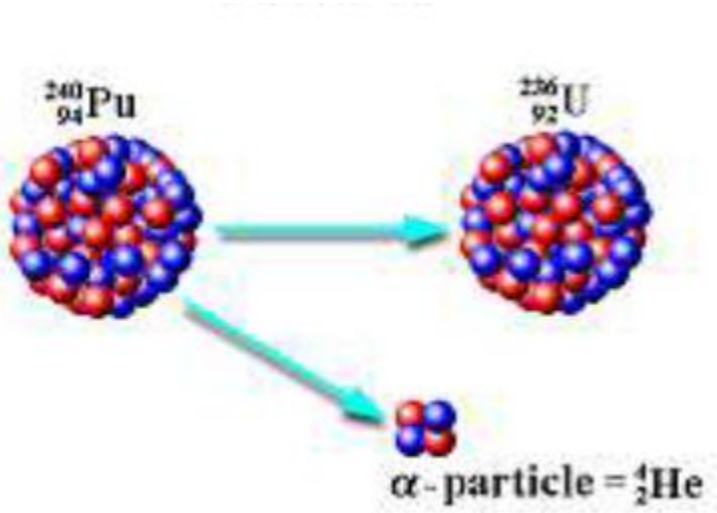
يمكن أن تصنف هذه الإصدارات إلى ثلاث أنواع تبعا لقدرتها على اختراق المواد، فإحدى هذه الأنواع لايمكن له أن يخترق قصاصة ورق، أما النوع الثاني فهو يستطيع المرور خلال سمك خمس سنتمرات من مادة الألمنيوم. أما النوع الثالث فكانت له قدرة اختراق عالية بحيث يمكن له المرور خلال عدة سنتمترات من مادة الرصاص. أطلق على هذه الأنواع الثلاثة أشعة ألفا، بيتا وغاما على التوالي.



الصورة 13: أنواع الإصدار الثلاثة حسب قدرة الاختراق.

3-3- أنواع الإصدارات النووية:

3-3-1- الإصدار ألفا أو نواة الهليوم: وهو أول الإصدارات اكتشافا لأن النيكليدات النشطة إشعاعيا التي تم اكتشافها سنة 1896 من قبل كوري ورذرفورد كانت تصدر إشعاعات α. ونعبر عن هذا النشاط أو الإصدار كما يلي:



صورة 14: تمثل إصدار الأنوية الهليوم (الفا).

ملاحظة: لكي تكون النواة (الأم) مشعة لجسيم ألفا يجب أن تحقق الشرط أن كتلتها أكبر من مجموع كتلة النواة الوليدة أو (الناتجة) وكتلة جسيم ألفا.

3-5- تفكك بيتا β.

هناك إصدار آخر يعرف باسم جسيمات بيتا وهذه الجسيمات عبارة عن إلكترونات أو بوزيترونات. وهي عبارة عن جسيمات كتلتها مساوية تماما لكتلة الإلكترون لكنها موجبة الشحنة ويحدث هذا النوع من التفكك في غالبية النظائر المشعة سواء أكانت ثقيلة أو خفيفة .لكي تكون الأنوية أكثر عند حدوث أي نوع من أنواع تفكك بيتا ينطلق من النواة جسيم يعرف باسم النيوترينو. بين العالم رذرفورد وصودي عام 1906 أن الأنوية المشعة تنتج نواة بنت متساوية في العدد الكتلي A ويزداد (-1) أو ينقص (+1) .

4 - قوانين التفكك الإشعاعي.

4-1- مقدمة: إن التفكك الإشعاعي علية إحصائية خاضعة للقوانين الفيزيائية الإحصائية إذن يمكن إيجاد القوانين التي تتفكك حسبها النوى المشعة من خلال قوانين فيزياء الإحصاء. وسوف ندرس فيما يلي قوانين التفكك الإشعاعي.

4-2- قوانين التفكك الإشعاعي.

ليكن احتمال التفكك الإشعاعي λ لنواة معينة خلال مدة زمنية قدرها واحد ثانية وهذا الاحتمال محصور كما يلي:

$$0 < \quad \lambda \quad < 1$$

عندما يكون زمن التفكك صغير جدا يكون احتمال التفكك لهذه النواة هو λd.

وعليه يكون احتمال التفكك ل N النواة هو λdt .

يمكن أن نعبر عن عدد النوى التي يمكن أن تتفكك خلال مدة زمنية كما يلي:

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

الإشارة السالبة تدل عل أن عدد النوى المتبقي أي الغير مشع يتناقص.

بمكاملة المعادلة السابقة بعد قسمتها على N نجد:

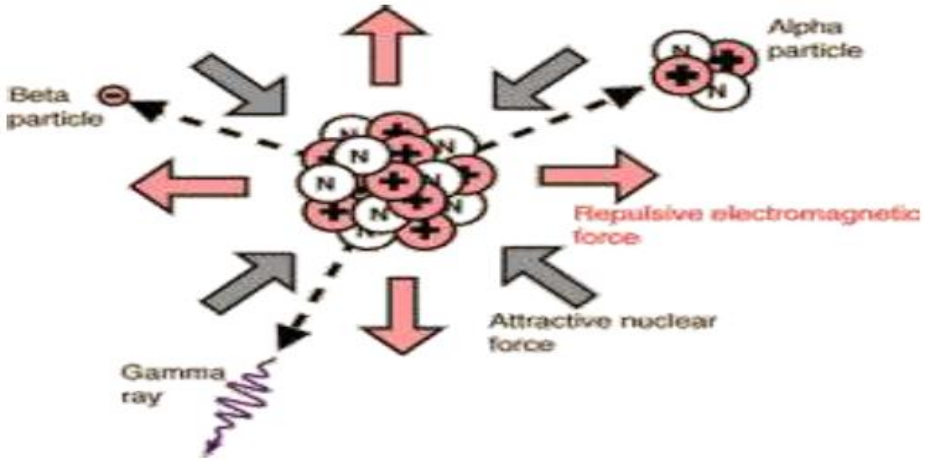
$$N(t) \quad = \quad N_0 e^{-\boldsymbol{\lambda} dt}$$

حيث N_0 هو عدد الأنوية الابتدائية عند الزمن $t = 0$.

تعرف العلاقة السابقة بقانون التفكك الإشعاعي.

3-4- النشاط الإشعاعي $(\boldsymbol{t})$:

هو عدد النوى المتفككة في الثانية ويرمز له بالرمز $\boldsymbol{A(t)}$ ويعرف رياضيا بأنه مشتق عدد الأنوية بالنسبة للزمن و انبعاث جسيمات موجبة أو سالبة أو إشعاعات كهرومغناطيسية. وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا النوع من التفكك أو الاضمحلال بالنظائر المشعة وتجدر الإشارة إلى أن عملية التفكك تحدث في النظائر سواء كانت في صورة نقية أم تدخل ضمن مركبات كيميائية أو بيولوجية أو غيرها. والشكل الموالي يمثل نواة مشعة.



الصورة - 15- تمثل نواة مشعة.

$$A(t) = dN(t)/dt$$

$$= \boldsymbol{\lambda}\ N_0 e^{-\boldsymbol{\lambda} dt}$$

$$A(t) = \boldsymbol{\lambda}\, N(t)$$

عند الزمن $t = 0$.النشاط الإشعاعي للعينة هو $A(0)$ حيث:

$$A(0) = A_0 = \boldsymbol{\lambda}\, N(0)$$

وعليه يمكن كتابه علاقة النشاط الإشعاعي بدلالة الزمن كما يلي:

$$A(t) \ = \ A_0 e^{-\boldsymbol{\lambda} dt}$$

ملاحظة:

عملية التفكك لا تتأثر بالعوامل الفيزيائية والكيميائية مثل الحرارة و البرودة وغيرها.

4-4- زمن نصف العمر:

وهو الزمن اللازم لتفكك نصف الأنوية الابتدائية ونعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$N(t) = \frac{N_0}{2}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0\ e^{-\boldsymbol{\lambda} dt/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{ln2}{\boldsymbol{\lambda}} = \frac{0.693}{\boldsymbol{\lambda}}$$

ملاحظة: إن ثابت التفكك يكون خاص بالنواة المشعة وعليه يكون لكل نواة مشعة تلقائيا أو صناعيا وسوف نتعرض للتفريق بينهما لاحقا نصف عمر خاص بها وسنذكر بعض الأنوية وأنصاف الأعمار الخاصة بها في الجدول التالي:

Nuclide	Half-Life	Decay Mode	Nuclide Name
^{198}Au	2.695 d	β^-	gold-198
^{14}C	5715 y	β^-	carbon-14
^{37}Ca	182 ms	β^+	calcium-37
^{60}Co	5.271 y	β^-	cobalt-60
^{137}Cs	30.2 y	β^-	cesium-137
^{53}Fe	8.51 min	β^+	iron-53
^{220}Fr	27.4 s	α	francium-220
^{3}H	12.31 y	β^-	hydrogen-3
^{131}I	8.021 d	β^-	iodine-131
^{37}K	1.23 s	β^+	potassium-37
^{42}K	12.36 h	β^-	potassium-42
^{85}Kr	10.73 y	β^-	krypton-85
^{16}N	7.13 s	β^-	nitrogen-16
^{19}Ne	17.22 s	β^+	neon-19
^{32}P	14.28 d	β^-	phosphorus-32
^{239}Pu	2.410×10^4 y	α	plutonium-239
^{226}Ra	1599 y	α	radium-226
^{222}Rn	3.823 d	α	radon-222
^{90}Sr	29.1 y	β^-	strontium-90
^{99}Tc	2.13×10^5 y	β^-	technetium-99
^{232}Th	1.40×10^{10} y	α	thorium-232
^{233}U	1.592×10^5 y	α	uranium-233
^{235}U	7.04×10^8 y	α	uranium-235
^{238}U	4.47×10^9 y	α	uranium-238

الجدول -3: يبين أنصاف الأعمار لبعض الأنوية المشعة.

5-4- متوسط العمر τ :

أ- **تعريف:** يعرف متوسط العمر بأنه الزمن اللازم لكي تتفكك جميع أنوية العينة مقسوما على عدد النوى المكونة للعينة.

ب- **حساب متوسط العمر τ:**

$$\tau = \frac{\int_{N_0}^{0} NdN}{\int_{N_0}^{0} dN}$$

ولدينا سابقا:

لما

$$N = N_0 \Longrightarrow N_0 = N_0 e^{-\lambda dt} \Longrightarrow 1 = e^{-\lambda t}$$

$$\Longrightarrow \lambda t = 0 \Longrightarrow t = 0$$

لما

$$N = 0 \Longrightarrow 0 = N_0 e^{-\lambda dt} \Longrightarrow 0 = e^{-\lambda t}$$

$$\Longrightarrow \lambda t = +\infty \Longrightarrow t = +\infty$$

من المعادلة الخاصة بتعريف متوسط العمر τ نجد:

$$\tau = \frac{\int_{N_0}^{0} NdN}{\int_{N_0}^{0} dN}$$

لدينا:

$$dN(t) = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$$

نعوض في معادلة التعريف فنجد:

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{-\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} \boldsymbol{t}\ \lambda N_0 e^{-\lambda t}\, dt}{-\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} \lambda N_0 e^{-\lambda t}\ d}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} \boldsymbol{t}\ e^{-\lambda t}\, dt}{\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} e^{-\lambda t}\ d}$$

عند حساب

$$= \int_{\mathbf{0}}^{+\infty} e^{-\lambda t}\ dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t}\Big|$$

$$\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} e^{-\boldsymbol{\lambda} t}\ dt = -\frac{1}{\boldsymbol{\lambda}} e^{-\boldsymbol{\lambda} t}\Big| = +\frac{1}{\boldsymbol{\lambda}}$$

ثم نحسب بالتكامل بالتجزئة:

$$\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} t\, e^{-\boldsymbol{\lambda} t}\ dt = \frac{1}{\boldsymbol{\lambda^2}}$$

إذن:

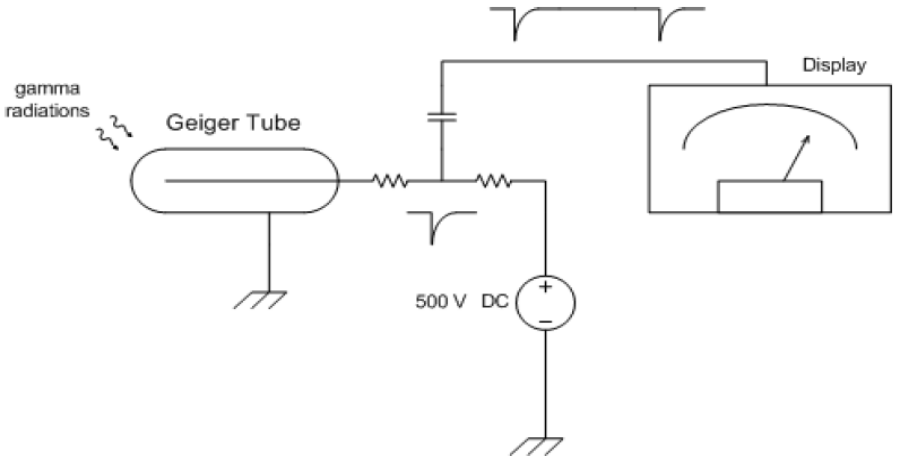
$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} \boldsymbol{t}\ e^{-\boldsymbol{\lambda} t}\, dt}{\int_{\mathbf{0}}^{+\infty} e^{-\boldsymbol{\lambda} t}\ d}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\lambda}}$$

وعليه فإن متوسط العمر هو مقلوب ثابت التفكك ووحدته الثانية.

الإحصاء والعد:

تهدف هذه التجربة إلى تطبيق الإحصاء وقياس القيمة الوسطية للإشعاع الطبيعي (المحيطي) في الجو وتعيين مقدار احتمال تقرب القيمة الوسطية المقيسة من القيمة الوسطية الحقيقية، ثم حساب الدقة الإحصائية. الإشعاعي من عداد جياجر - مولر موصول بلاقط أو كاشف حساس للنبضات أثناءعد النبضات، قد يحدث أن يضيف جهاز العد إلى النبضات الآتية من المنبع المشع نبضات إضافية ناجمة عن عطل داخلي في جهاز العد، مما يحدث تشويشا في قياس النشاط الإشعاعي الحقيقي للمنبع، هذا ما يتطلب دراسة جهاز العد ألمراد استعماله ومعرفة ما إذا كان سليما ويعمل بانتظام. لذلك ينبغي دراسة صوت القرار في جهاز العد وهذا باستعمال الطرق الإحصائية لمعرفة ما إذا كانت النبضات المعدودة خاضعة فقط لقوانين الإحصاء وهذا ما يجب أن يكون (تبتعد كثيرا عن هذه القوانين، فطرق الإحصاء تساعدنا إذن على كشف عيوب أجهزة العد قبل استعمالها وتقدم لنا معلومات مفيدة لتعيين الدقة الإحصائية في قياساتنا وهو أمر لابد منه لتحديد الأخطاء المرتكبة في القياسات وتحديدها الذي تكون فيه نتائج القياس صحيحة بدقة كافية أو بدقة مفروضة سلفا.



الصورة 16 تمثل جهاز عد نووي

المفاهيم النظرية:

1-التقنيات الإحصائية:

نختار وحدة للزمن مناسبة يكون فيها صوت القرار مثلا محصورا بين 4 نبضات و 15 نبضة يمكن لهذه الوحدة الزمنية أن تكون الدقيقة أو الربع الدقيقة... إلخ لذلك نضع العداد بعيدا عن أي منبع مشع باستثناء الأشعة الكونية والإشعاعات المحيطية الطبيعية. نشغل عداد جياجر -مولر الموصول باللاقط الحساس و في نفس الوقت نشغل عداد الزمن (الكرونومتر) و نترك العداد يسجل النبضات مدة عشرة دقائق وليكن (36) العدد المسجل خلال دقيقة واحدة ونختار ربع دقيقة كوحدة للزمن لأن العد خلالها وهو (9) يكون محصورا

بين العددين (4) نبضات و15 نبضة كما افترضنا سابقا. بعد ذلك يعاد بدء العد من جديد مع تشغيل الكرونومتر بالوقت نفسه، و بعد انقضاء وحدة الزمن الأولى (بربع دقيقة الأول) نسجل عدد النبضات التي عدها الجهاز دون توقف وبعد انقضاء وحدة الزمن الثانية (15 ثانية) نسجل عدد النبضات التي سجلها الجهاز دون توقف وهو بالطبع عدد النبضات التي عدها الجهاز خلال وحدتي الزمن المتتاليتين اي خلال30 ثانية وبعد انقضاء وحدة الزمن الثالثة (أي 45 ثانية) نسجل عدد النبضات .

وهكذا نتابع التسجيل على هذا النحو حتى تنقضي، مثلا مائة (100) وحدة زمنية أي ما يعادل25 دقيقة وهذا اعتبارا من اللحظة "صفر"وهي لحظة بدء العد، ثم نملأ جدول نتائج القياس في العمود الأول نسجل أرقام وحدات الزمن A) : المسمى بجدول " الفروق المتتالية" جدول يكون كما يلي:

في العمود الثاني نسجل عدد النبضات المتراكمة المتتالية من 0 إلى 23 إلخ ... ومعناه أن ،،15، في وحدة الزمن ولتكن مثلا6 : ،(Impulsions cumulées) 0 الجهاز سجل الرقم "0 " في لحظة البدء وسجل بعد انقضاء وحدة الزمن الأولى الرقم "6 " وسجل بعد انقضاء وحدة الزمن الثانية العدد "15" (هذا العدد هو مجموع ما سجله خلال وحدتي الزمن الأولى والثانية). نضع في العمود الثالث الفروق المتتالية وهذه الأعداد تعبر عما سجله الجهاز في كل وحدة زمن من الوحدات المتتالية الترتيب من صفر إلى مائة.

m	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2	0.7	0.2	0.1								
1	7	3	2	1	0.8							
2	15	8	4	2	1	0.5						
3	20	14	9	5	3	2	0.7	0.4				
4	20	18	13	9	6	3	2	1				
5	16	18	15	13	9	6	4	2	1	0.7		
6	10	15	16	15	12	9	6	4	3	2	0.8	0.5
7	6	10	14	14	14	12	9	6	4	3	2	1
8	3	7	10	13	14	13	11	9	6	5	3	2
9	1	4	7	10	12	13	13	11	9	7	6	3
10	0.5	2	4	7	10	12	13	12	10	9	7	5
11	0.2	0.8	2	5	7	10	11	12	11	10	8	7
12			1	3	5	7	9	11	11	11	10	8
13			0.5	1	3	5	7	9	11	11	11	10
14			0.2	0.7	2	3	5	7	9	10	11	10
15					1	2	3	5	7	9	10	10
16					0.5	1	2	4	5	7	9	10
17					0.2	0.5	1	2	4	6	7	9
18							0.7	1	3	4	6	7
19								0.2	2	3	4	5
20									1	2	3	4
21									1	1	2	3
22									0.3	1	1	2
23										0.4	1	1

جدول -4- القيم التي سجلها الجهاز في كل وحدة زمن من الوحدات المتتالية الترتيب.

4-النماذج النووية:

4-1- نموذج القطرة السائلة.

4-2- نموذج الطبقات.

4 -3- الصيغة النصف تجريبية للكتلة.

4-1- نموذج القطرة السائلة

4-1-1 مقدمة:

من أجل دراسة النواة وحالة مكوناتها دراسة نظرية وتجريبية صحيحة واستخراج ما تحتاجه البشرية من طاقة نووية وذرية من هذه الأخيرة ولهذا الغرض تم اقتراح عدة نماذج نووية نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر نموذج القطر السائلة ونموذج الطبقات وتختلف هذه النماذج في بينها حسب فرضياتها ومقترحاتها وثوابتها التجريبية المستقاة من التجربة.

4-1-2- نموذج القطرة السائلة:

إن هذا النموذج يعتبر النموذج الأنسب الذي يمكن من خلاله أن نعبر تعبيرا صوريا عن خصائص النواة وتعيين طابع القوى النووية. فالقوة الفاعلة في جزيئات المائع أو السائل لها تأثير محدود مداخل القطر شأنها شأن القوة النووية داخل النواة. كما أن الجزيئات المكونة للقطر السائلة لها كثافة وحركة وأن مكونات النواة أيضا تتمتع بكثافة وحركة وعزوم مدارية تختلف عن الوسط الخارجي. أما عند تقديم طاقة للنواة فإنها تتوزع على كافة نيكليوناتها على غرار ما يحدث للقطرة السائلة عندما نقدم لها طاقة خارجية فإن كافة الجزيئات المكونة لها تتأثر بهذه الطاقة وتتوزع عليها توزيعا إحصائيا حسب قوانين الفيزياء الإحصائية المعمول بها.

ويمكن الإشارة أيضا إلى أن درجة الحرارة المقدمة للنواة هي مؤشر للطاقة الحركية المتوسطة للنيكليونات المكونة للنواة، كما تشير أيضا للفرق الموجود بين القطرة السائلة والنواة هو أن للنواة كثافة حجمية لامتناهية تقريبا وهذا خلافا لما هو موجود في القطرة السائلة. ويتميز هذا النموذج بمميزات تجريبية أهمها:

4-1-2-ا-مميزات نموذج القطرة السائلة:

- طاقة ربط جزيء موجود على السطح أقل من طاقة ربط جزيء موجودة في الداخل.

- طاقة التبخير تتناسب مع الكتلة.

- كثافة الكتلة مستقلة عن الحجم.

- تتوزع الشحنة بانتظام.

من خلال ما سبق نستنتج أن طاقة الربط بالنسبة للنواة بدلالة المتغيرات السالفة الذكر تكون كما يلي:

$$E_B = ({}^{A}_{Z}X) = a_V\,A - a_S\,A^{2/3} + a_C\,\frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a\,\frac{(N-Z)^2}{A} + a_P\,A^{-1/2}\begin{pmatrix}+1\\0\\-1\end{pmatrix}$$

أما المعاملات الموجودة في العلاقة التالية يتم تعريفها كما يلي:

اسم المعامل	رمزه	قيمته MEV
حد الحجم		15.75
حد السطح		17.80
حد كولوم		0.7
حد التناظر		23.60
حد الزوجية		11.20

جدول-5- يبين القيم التجريبية لمعاملات نموذج القطرة السائلة.

- **حد الحجم**:

تتعلق طاقة الربط بعدد النيكليونات وأن كل نيكليون يكون تأثيره جواريا أي يؤثر على النيكليونات المجاورة له فقط لذلك نكتب:

$$(E_B)_V = A.\, a_V$$

- **حد السطح**:

النيكليونات الموجودة داخل النواة تكون أكثر تماسكا وأكثر عرضة للقوة النووية الرابطة على العكس بالنسبة للنيكليونات القريبة من السطح أي كلما اقتربنا من السطح تتناقص طاقة الربط المؤثر على النيكليون أي يمكن أن نعرف هذا الثابت رياضيا بما يلي:

$$s = 4\pi\ r^2$$
$$r = r_0\ A^{1/2}$$

بتعويض المعادلة قيمة نصف القطر نجد:

$$s = 4\pi {r_0}^2\ A^{\frac{2}{3}}$$
$$(E_B)_s = a_S\ A^{2/3}$$

ومنه أن طاقة التماسك تتناسب مع السطح والعدد الكتلي.

- **حد كولوم**:

البروتونات تملك نفس الشحنة وهي تتنافر فتقلل ويكون ذلك متناسب مع طاقة كولوم ونكتب هذا الحد كما يلي:

$$E_B \propto \frac{(N-Z)^2}{\mathrm{A}}$$
$$E_B = a_a \frac{(N-Z)^2}{\mathrm{A}}$$

- **حد الزوجية a_p :**

إذا كانت لدينا أنوية لها N و Z زوجيين تكون أكثر تماسكا وإذا كانا مختلفين تكون أقل تماسكا وإذا كانت (فردي – فردي) يكون التماسك أقل من سابقه.

$$E_B = a_p\, \boldsymbol{A^{-1/2}} \begin{pmatrix} +1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

2-4- نموذج الطبقات: يعتمد هذا النموذج على أن النيكليونات في النواة تكون على شكل طبقات طاقوية مثل طبقات الإلكترونات في الذرة حيث تتوضع النيكليونات حسب مبدأ باولي الذي ينص على عدم وجود نيكليوونين لهما نفس السببين في حالتين كوانتيتين متماثلتين. أي أن كل حالة لها سوية طاقة محددة. إن النيكليونات التي تنتمي لنفس السوية الطاقية تكون قيم طاقاتها متقاربة ونقول عن طبقة أنها مغلقة إذا كانت كافة سوياتها مملوءة بالجسيمات وتكون الطبقة أكثر استقرارا قبل امتلائها أي أكبر طاقة ارتباطا.

من المعلوم أن الذرات التي تملك طبقات 2 10 18 36 54 76 نقول عنها أنها تملك طبقة خارجية مشبعة وأنها لا تتبادل الإلكترونات مع غيرها، وهي ذات وجودطبيعي ، أما الذرات التي تملك 2 10 18 36 إلكترونا ندعواها بالغازات الخاملة كما هو معلوم.

وطبقا لقاعدة الاستبعاد لباولي فإن كل مستوي ذو الطبقة n يحتوي على $N=2(2l+1)$ وعند إسقاط هذه القاعدة على عدد النيكليونات في النواة فقد أثبت تجريبيا أن الأنوية التي لها 2 8 20 28 50 82 بروتونا أو التي لها 2 8 20 28 50 82 أو 126 نترونا.

في الجدول الموالي تم ترتيب المستويات طبقا لزيادة طاقة المستوي n وطبقا لقاعدة الاستبعاد لباولي فإن كل مستوي يحتوي على $N=2(2l+1)$ من كل نوع من النكليونات.

n هو العدد الكمي التوافقي ويأخذ القيم ..... 3 2 1 .

l هو العدد الكمي المداري ويأخذ القيم ..... 3 2 1 0 .

ونستخدم الحروف بدلا من القيم العددية لملء المسويات بالنيكليونات.

	0	1	2	3	4	5	6
الرمز	s	P	d	F	G	H	i

الحالة	1s	1p	2s d	1f 2p	1g 2d 3s	1h 2f 3p
	0	1	0 2	3 1	4 2 0	5 3 1
N	2	6	2 10	14 6	18 10 2	92 106 112
	2	8	10 20	34 40	58 68 70	92 106 112

الجدل -6- جدول يبين نموذج تفصيلي للطبقات.

لإثبات أن النوى التي تحتوي على 59 ،6،19،16، 1و 61 بروتونا أو 59 ،1،6،19،16 أو 114 نيترونا تكون تشكيلات مستقرة جدا. في هذا النموذج فرض أن كل نكليون يتحرك في مداره داخل النواة مستقلا عن بقية النكليونات.

تمرينات حول نموذج الطبقات:

التمرين الأول:

تحتوي الصيغة التجريبية للنواة $M(A.Z)$ والتي تعتمد العدد الذري Z والعدد الكتلي A على عدة حدود ،اشرح وضيفة كل حد مع إعطاء القيمة التقريبية للثوابت في الحدود المكونة للصيغة.

التمرين الثاني :

باستخدام الصيغة التقريبية لطاقة الربط النووي التي تعطى بالشكل التالي:

$$E_B = ({}^{A}_{Z}X) = a_V\, A - a_S\, A^{2/3} + a_C\, \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a\, (A-2Z)^2$$

نفرض ان الأنوية أيزوبارات أي A أشتق هذه الصيغة بالنسبة بالنسبة للعدد الشحني وأجد العلاقة بين A وZ أي Z بدلالة A .

التمرين الثالث:

الأعداد P و n غالبا ما تكون متساوية في الأنوية المستقرة الخفيفة ومع ذلك فإن n يكون أكبر من P في الأنوية الثقيلة المستقرة، أما بالنسبة للأنوية الخفيفة الطاقة اللازمة لنزع P أو n متساويان، أما بالنسبة للأنوية الثقيلة فإن الطاقة اللازمة لنزع P أكبر من الطاقة اللازمة لنزع n، أشرح هذه الحقيقة باستعمال نموذج القطرة السائلة.

التمرين الرابع :

باستخدام الصيغة التجريبية لطاقةالترابط النووي. حدد العلاقة عدد النيترونات البروتونات التي تفسر الشكل العام لمنحنى الثبات النووي $N = f(z)$.

الفصل الخامس

- نموذج الطبقات:

- التزاوج لف- مدار
- كمون المهتز التوافقي
- الكمون المربع
- توزع الشحنة الكهربائية للنواة

1-5- التزاوج لف –مدار

العزم المغناطيسى والسبين هما في نفس الاتجاه إذن:

$$\vec{\mu} = \frac{q}{2m}\vec{S}$$

في حالة الإلكترون فإن العزم المغناطيسي يعطى بضعف هذه القيمة ويكون شكله كما يلي:

$$\vec{\mu}_e = -\frac{e}{m}\vec{S}$$

الحقل المغناطيسي الناتج عن حركة البروتون يوثر على العزم المغناطيسي الإلكترون بحيث يجعل اتجاه العزم المغناطيسي الإلكترون مقتربا بما فيه الكفاية من الحقل المغناطيسي الناتج عن حركة البروتون وبناءا على ما سبق الهاملتوني المرافق يكتب بالشكل التالي:

$$\lambda H_{so}^{1} = -\vec{\mu}_e . \vec{B}$$

$$\lambda H_{so}^{1} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{m^2\ c^2\ r^3}\vec{S}.\vec{L}$$

المعلم الذي به الإلكترون ليس بمعلم عطالي لأن حركته ليست مستقيمة منتظمة ولتصحيح هذا التأثير نضرب الهاملتوني بالمعامل 1/2، يسمى هذا المدار بمدار توماس.

$$\lambda H_{so}^{1} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\frac{1}{m^2\ c^2\ r^3}\vec{S}.\vec{L}$$

نلاحظ أن تصحيح النسبة المغناطيسية للإلكترون ومداره يلغيان بعضهما البعض بصفة كلية.

الهاميلتوني λH_{so}^{1} يصف التفاعل بين عزم السبين والعزم المداري الحركي لذرة الهيدروجين في الميكانيك الكمي يتم تعويض كل من الأشعة $\vec{S}.\vec{L}$ بالموثرات $\hat{L}.\ \hat{S}$، ومن المعلوم أن موثر الهاميلتوني لا يتبادل مع الموثرين $\hat{L}.\ \hat{S}$ ويتبادل مع $\hat{J}^2\ \hat{L}^2\ \hat{S}^2$ و $\hat{J}_3$. حيث $\vec{J}$ هو العزم الحركي الكلي الذي تعطى عباراته بالشكل التالي:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

بما أن $S = \frac{1}{2}$ فإن القيم الذاتية الممكنة لـ $\hat{J}^2$ هي $\hbar^2 j(j+1)$ حيث:

$$j = l + \frac{1}{2} \quad j = l - \frac{1}{2}$$

الأشعة الذاتية المقابلة هي:

$$|\mathrm{j}\ \mathrm{j}_3> = \sum_{m\,\sigma} C_{\mathrm{j}\,\mathrm{j}_3}^{lm\,s\,\sigma}\ |l\ s\ \sigma>\ \ |lm>$$

$$= C_{\mathrm{j}\,\mathrm{j}_3}^{l\mathrm{j}_3-\frac{1}{2}\,s+\frac{1}{2}}\ \ |l\mathrm{j}_3 - \frac{1}{2}>\ \ |s+\frac{1}{2}>$$

$$+C_{\mathrm{j}\,\mathrm{j}_3}^{l\mathrm{j}_3+\frac{1}{2}\,s-\frac{1}{2}}\ \ |\ l\mathrm{j}_3\,\frac{1}{2}>\ \ |s-\frac{1}{2}>$$

المعاملات $C_{\mathrm{j}\,\mathrm{j}_3}^{l\mathrm{j}_3 m\,s\sigma}$ هي معاملات كلابش غوردون التي يمكن أن تحقق ضمن شروط معينة معدومة القيمة $C_{\mathrm{j}\,\mathrm{j}_3}^{l\mathrm{j}_3 m\,s\sigma} = 0$ بإستثناء الحالة التي تكون فيها $\mathrm{j}_3 = m + \sigma$ يمكن أخذ الاشعة الذاتية المشتركة لـ H^0. $\hat{L}^2$ $\hat{J}^2$ $\hat{S}^2$ و $\hat{J}_3$ هذه تعطى بالعلاقة التالية:

$$|\Psi_{njj_3}>= |\mathrm{R}_{nl}^{|}> |\,j\ j_3>\ \ |s-\frac{1}{2}>$$

هنا يجب أن نقارب:

$$|\Psi_{njj_3}> |s\sigma> = |R_{nl}> |lm> |s\sigma>$$

التي هي عبارة عن الأشعة الذاتية المشتركة لـ: H^0 . $\hat{L}^2$ $\hat{J}^2$ $\hat{S}^2$ و $\hat{L}_3$. و $\hat{S}_3$ للطاقات غير المضطربة المقابلة لـ $\mathrm{I}\ \Psi_{njj_3}>$ أو $\mathrm{I}\ \Psi_{nlm}>\ \mathrm{I}s\sigma>$ التي تعطى بطاقات بور إذن نحسب:

القيم الذاتية للأشعة $\vec{S}.\vec{L}$ المقابلة ل $\mathrm{I}\ \Psi_{njj_3}>$ التي تعطى بالعبارة التالي:

$$\frac{\hbar^2}{2}\left(\mathrm{j(j+1)} - \mathrm{s(s+1)} - \mathrm{l(l+1)}\right) = \frac{\hbar^2}{2}\left(\mathrm{j(j+1)} - \frac{3}{4} - \mathrm{l(l+1)}\right)$$

التصحيح من الرتبة الأولى يعطى بـ:

$$\lambda E_{\mathrm{lmn}}^1 = <\Psi_{njj_3}|\,\lambda E_{\mathrm{lmn}}^1\,|\,\Psi_{njj_3}>$$

$$= \frac{c^2}{8\pi\epsilon_0}\frac{1}{\mathrm{m}^2\mathrm{c}^2}\frac{\hbar^2}{2}\left(\mathrm{j}(\mathrm{j}+1)-\frac{3}{4}-\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\right) < \Psi_{njj_3}\mathrm{I}\frac{1}{r^3}\,\mathrm{I}\,\Psi_{njj_3} >$$

$$= \frac{c^2}{8\pi\epsilon_0}\frac{1}{\mathrm{m}^2\mathrm{c}^2}\frac{\hbar^2}{2}\left(\mathrm{j}(\mathrm{j}+1)-\frac{3}{4}-\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\right) < R_{nl}\left|\frac{1}{r^3}\right|R_{nl} >$$

$$= \frac{a\hbar^2}{4\mathrm{m}^2\mathrm{c}}\left(\mathrm{j}(\mathrm{j}+1)-\frac{3}{4}-\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\right) < \Psi_{njj_3}|\frac{1}{r^3}|\,\Psi_{njj_3} >$$

نستعمل النتيجة:

$$< \frac{1}{r^3} >= \frac{a^3\mathrm{m}^3\mathrm{c}^3}{\hbar^3\mathrm{n}^3\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\left(\mathrm{l}+\frac{1}{2}\right)}$$

$$\lambda E^1_{\mathrm{so}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{mc^2}\frac{a^3\mathrm{m}^3\mathrm{c}^3}{\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\left(\mathrm{l}+\frac{1}{2}\right)}\left(\mathrm{j}(\mathrm{j}+1)-\frac{3}{4}-\mathrm{l}(\mathrm{l}+1)\right)$$

نحسب العبارة التالية:

$$\lambda E^1_{\mathrm{so}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{2mc^2}\frac{2\mathrm{n}}{\mathrm{l}+\frac{1}{2}}\frac{1}{\mathrm{l}+1}\ .\ \mathrm{j}=\mathrm{l}+\frac{1}{2}$$

$$\lambda E^1_{\mathrm{so}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{2mc^2}\frac{2\mathrm{n}}{\mathrm{l}+\frac{1}{2}}\frac{1}{\mathrm{l}}\ .\ \mathrm{j}=\mathrm{l}-\frac{1}{2}$$

في الخلاصة نستطيع القول أن:

$$\lambda\, E^1_{\mathrm{so}} + \lambda\, E^1_{\mathrm{r}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{2mc^2}\left(3-\frac{4\mathrm{n}}{\mathrm{l}+1}\right)\ .\ \mathrm{j}=\mathrm{l}+\frac{1}{2}$$

$$\lambda E^1_{\mathrm{so}} + \lambda\, E^1_{\mathrm{r}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{2mc^2}\left(3-\frac{4\mathrm{n}}{\mathrm{l}}\right)\ .\ \mathrm{j}=\mathrm{l}-\frac{1}{2}$$

يمكن كتابة العبارتين السابقتين على الشكل التالي:

$$\lambda\, E^1_{\mathrm{so}} + \lambda\, E^1_{\mathrm{r}} = \frac{(E^1_{\mathrm{so}})^2}{2mc^2}\left(3-\frac{4\mathrm{n}}{\mathrm{j}+\frac{1}{2}}\right)$$

المستويات الطاقوية لذرة الهيدروجين:

$$\mathrm{E_n} = \mathrm{E_n^0} + \lambda\, E_{\mathrm{so}}^1 + \lambda\, E_{\mathrm{r}}^1$$

$$= \mathrm{E_n^0}\left[1 + \frac{a^2}{n^2}\left(\frac{n}{j+\frac{1}{2}} - \frac{3}{4}\right)\right] + \lambda\, E_{\mathrm{so}}^1 + \lambda\, E_{\mathrm{r}}^1$$

نلاحظ من خلال العلاقة الأخيرة أنه يوجد انحلال في j.

2-5- كمون الهزاز التوافقي:

1-2-5 الدراسة الكلاسيكية:

من تطبيق قوانين نيوتن على الهزاز التوافقي نجد:

$$F = mx = -kx$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + w^2\, x = 0$$

ومنه يكون التردد الزاوي كما يلي:

$$w^2 = \frac{k}{m}$$

ومنه الحل يأخذ الشكل التالي:

$$x = A\, cous\, wt$$

الدراسة الكمية:

معادلة شرودينقر للهزاز التوافقي حول موضع التوازن:

$$\widehat{H} = \frac{-\hbar^2}{2m}\,\nabla^2 + U$$

$$\widehat{H} \quad = \frac{-\hbar^2}{2m}\,\nabla^2 + \frac{1}{2}\,k\,\hat{x}^2 \qquad (5-1)$$

$$\widehat{H}\,\psi = E\,\psi \qquad (5-2)$$

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2m}\,\frac{\partial^2}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{1}{2}\,k\,x^2\right)\psi = E\psi$$

$$\frac{\partial^2\,\psi}{\partial \mathrm{x}^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E\; - \frac{1}{2}\,k\,x^2\right) = 0$$

$$\frac{\partial^2\,\psi}{\partial \mathrm{x}^2} + \left(\frac{2m}{\hbar^2}E\; - \frac{m}{\hbar^2}\,k\,x^2\right) = 0 \qquad (5-3)$$

نفرض أن:

$$a = \frac{-2mE}{\hbar^2}$$

$$b^2 = \frac{mk}{\hbar^2} \Longrightarrow \qquad b = \frac{\sqrt{mk}}{\hbar^2}$$

نعوض العبارات السابقة في المعادلة $(5-3)$ نجد:

$$\frac{\partial^2\,\psi}{\partial \mathrm{x}^2} + (a\; - b^2\,x^2) = 0 \qquad (5-4)$$

نجري التغير للمتغير x بالعبارة التالية:

$$\xi = \mathrm{b}\,\sqrt{x} \;\Longrightarrow\; \mathrm{x}^2 = \frac{\xi^2}{\mathrm{b}}$$

بالتفاضل نجد:

نربع العلاقة السابقة نجد:

$$d\xi^2 = \mathrm{b}\;dx^2 \Longrightarrow dx^2 = \frac{d\xi^2}{\mathrm{b}}$$

نعوض في المعادلة $(4-5)$ عل المتغيرين $a.\ \mathrm{b}$

$$\frac{\frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2}}{\mathrm{b}} + \left(a - b^2 \frac{\xi^2}{2} \right) = 0$$

$$\mathrm{b} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \left(a - \mathrm{b}\, \xi^2 \right) = 0$$

نقسم المعادلة على b فنجد:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \left(\frac{a}{\mathrm{b}} - \xi^2 \right) \psi = 0 \qquad (5-5)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بحاجة إلى حلول تكون كما يلي:

$$\lambda = \frac{a}{\mathrm{b}} = \frac{2\mathrm{mE}}{\hbar^2}$$

$$\lambda = \frac{2\mathrm{mE}}{\hbar^2 \sqrt{mk}} = \frac{2\mathrm{E}}{\hbar \sqrt{\frac{k}{m}}} = \frac{2\mathrm{E}}{\hbar\, w} \qquad (5-6)$$

إن إيجاد الطاقة هو حل للمعادلة $(5-6)$ ونجد الطاقة من خلال عبارة λ التي يكون شكل المعادلة كما يلي:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \left(\lambda - \xi^2 \right) \psi = 0$$

حل هذه المعادلة يكون بتعيين قيم λ :

$$\lambda = 2n + 1. \qquad n = 0.1.2$$

من العلاقة $(5-6)$ نجد أن عبارة λ تكون كما يلي:

$$\lambda = 2n + 1 = \frac{2E}{w\hbar}$$

يمكن القول أن الطاقة مكممة.

$$2E = \hbar w(2n + 1)$$

$$E_n = \hbar w\left(n + \frac{1}{2}\right)$$

طاقة الهزاز التوافقي تبع العدد الكمي n.

ملاحظة: عندما تكون $n = 0$ فإن الطاقة تكون بالعبارة التالية:

$$E_0 = \frac{1}{2}\hbar w$$

هذا يعني أنه في درجة الصفر المطلق فإن المجملة الذرية تهتز بطاقة صفرية بعكس المنظومة التقليدية التي تجمد الجملة في الحالة الصفر المطلق أي أن طاقة الصفر تساوي الصفر من النظرة الكلاسيكية.

5-3- الكمون المربع

نعتبر الكمون المربع الذي يعطى بالشكل التالي:

$$\mathrm{V} = -V_0 \Longrightarrow\ -a < x < a$$

$$\mathrm{V} = 0,\ \ |x| > 0$$

الحالة المرتبطة $(E < 0)$ نعرف

$$k = \frac{\sqrt{-2mE}}{\hbar}$$

لدينا ثلاث مناطق

المنطقة الأولى توافق $x < -a$ المنطقة الثانية $x > a$ في هاتين المنطقتين نكتب معادلة شرودنجر كما يلي:

$$\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2} = \kappa^2\psi$$

الحل العام هو

$$\psi(x) = Ae^{-\kappa x} +\ \ Be^{\kappa x}$$

الحل في المنطقة الأولى:

$$\psi_I(x) = Be^{-\kappa x}\ ,\ \ x < -a$$

الحل في المنطقة الثالثة يكون بالشكل التالي:

$$\psi_{III}(x) = Fe^{+\kappa x} \ , \ x > a$$

إن حلول معادلة شرودينغر القابلة للتنظيم تكون طاقها أكبر أو تساوي القيمة الأصغرية للكمون في هذه الحالة يعني $E > -V_0$ وعليه في المنطقة الثانية من أجل $-a < x < a$ وتكتب معادلة شرودينغر بالعبارة التالية:

$$\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2} = -l^2\psi \ , \qquad l = \frac{\sqrt{2m(E+V_0)}}{\hbar}$$

حل هذه المعادلة يكون مقترح بالعبارة التالية:

$$\psi_{III}(x) = Csinlx + Dcoslx$$

لأن الكمون زوجي نفترض أن الدالة الموجية إما زوجية أو فردية بافتراض أنها زوجة لدينا مباشر $C = 0$ نحصل العبارة التالية:

$$\psi_{II}(a) = Dcos\, lx$$

الشروط الحدودية $\psi_{II}(a) = \psi_{III}(a),\ \psi_I(-a) = \psi_{II}(-a)$ نستنتج المساواة التالية :

$$B = F$$

$$Be^{-kx} = Dcos\, la$$

والشروط الحدودية أيضا $\psi_{II}(a) = \psi_{III}(a),\ \psi_I(-a) = \psi_{II}(-a)$ نستنتج المساواة التالية التي تكون بإشتقاق العلاقة السابقة:

$$kBe^{-kx} = Dlcos\, la$$

إذن الطاقات المسموح بها يجب أن تحقق الشرط التالي:

$$\tan la = \frac{k}{l}$$

نستعمل تغير متغير كل من z z_0 بالشكل التالي:

$$z = la \ . \ z_0 = \frac{a}{\hbar}\sqrt{2mV_0} \ .$$

نلاحظ أن $k^2 + l^2 = 2\mathrm{m}V_0/\hbar$ وباستعمال العلاقات التالية نجد:

$$a^2k^2 = \mathrm{z}_0^2 - \mathrm{z}^2$$

وعليه نجد:

$$\tan z = \sqrt{\frac{z_0^2}{z^2} - 1}$$

يجب حل هذه المعادلة من أجل تعيين قيم المجهول z المكافئ للطاقة E بدلالة المغير z_0 الذي يعبر عن أبعاد البئر الكوموني.

ملاحظة: إذا كانت z_0 تقارب اللانهاية فإن $\tan z$ يكون كبير جدا وبالتالي تكون عبارة z كما يلي:

$$z = \frac{n\pi}{2}$$

حيث $n = 2t + 1$ أي أنه فردي ويكون تساوي الدالتين $\tan z$ و $\sqrt{\frac{z_0^2}{z^2} - 1}$ يكون الحل كالتالي:

$$z_n = n\,\frac{\pi}{2} \quad \rightarrow E_n' = E_0 + V_0 = \frac{\hbar^2\pi^2 n^2}{2m(2n)^2}$$

من أجل V_0 منته فإنه يوجد عدد منته من الحلول عندما يكون V_0 يقارب اللانهاية تكون قيم الطاقة E_n' لانهائية، نقول أن طاقة الكمون المربع لانهائية.

من أجل كمون صغير جدا وضيق فإنه لدينا عدد صغير جدا من الحالات المرتبطة. من أجل كل قيمة 0 التي هي أقل من $\pi/2$ مهما كانت صغيرة فإنها تكون حالة وحيدة مرتبطة يمكن إيجادها.

- تمرينات مقترحة:

التمرين الأول:

نعتبر جسيم ذو سبين يساوي نصف الحالة الذاتية العليا للموثرات $\hat{S}^2$ و $\hat{S}_1$ يرمز لها بالرمز $|+\rangle \equiv \left|\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\right\rangle$ أما الحالة الذاتية الدنيا يرمز لها $|-\rangle \equiv \left|\frac{1}{2}\ \frac{-1}{2}\right\rangle$ المطلوب:

1- أكتب الموثرات $\hat{S}^2$, $\hat{S}_3$ و $\hat{S}_{\mp}$ في هذا الأساس.

2- عبر عن $\hat{S}_1$ بدلالة مصفوفات باولي.

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.\ \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -\mathrm{i} \\ \mathrm{i} & 0 \end{pmatrix}.\ \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

3- ما هي القيمة التي نحصل عليها وما هي احتمالاتها إذا قسنا السبين $\hat{S}_3$ في حالة عامة للجسم.

4- ما هي القيمة التي نحصل عليها وما هي احتمالاتها إذا قسنا السبين $\hat{S}_1$ في حالة عامة للجسم.

5- إذا افترضنا أن الجسم في اللحظة الابتدائية موجود في الحالة $|+\rangle$ ما هي نتائج قياس السبين $\hat{S}_1$ وما هي احتمالاتها إذا أدى القياس إلى النتيجة $\frac{\hbar}{2}$ ما هي حالة الجسم بعد القياس. ما هي نتائج قياس السبين $\hat{S}_3$ الذي نجريه مباشرة بعد القياس السابق.

التمرين الثاني :

نعتبر جملة مكونة من جسمين سبينهما $\frac{1}{2}$ مثل الإلكترون والبروتون في الحالة الأساسية لذرة الهيدروجين ما هو العزم الحركي الكلي للجملة.

-5-2- قانون التحول المتتابع:

نفترض أن الأم N_1 تفكك بثابت تفكك λ_1 وتنتج بنت N_2 وإشعاع r_1 وأن البنت تفكك أيضاً بثابت تفكك λ_2 لتنتج نكليداً مسقراً وإشعاعا هو r_2 :

$$N_1 \xrightarrow{\lambda_1} N_2 + r_1 \xrightarrow{\lambda_2} N_3 + r_2$$

إذا كان N_3 ، N_2 ، N_1 على الترتيب أعداد النوى المشعة الموجودة عند أي لحظة t فنستطيع القول بأن التفكك الأول للعينة يعطى بالعلاقة:

$$A_1 = -\frac{dN_1}{\mathrm{dt}} = \lambda_1 N_1 \qquad (1)$$

إن عدد النوى N_2 يتناقص بسبب أن N_2 يتفكك وأنه يزداد بسبب تفكك N_1 إذاً:

$$A_2 = -\frac{dN_2}{\mathrm{dt}} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \qquad (2)$$

أما N_3 فهو مستقر ولكنه يزداد بسبب التفكك N_2 لذلك يكون:

$$A_3 = -\frac{dN_3}{\mathrm{dt}} = \lambda_2 N_2 \qquad (3)$$

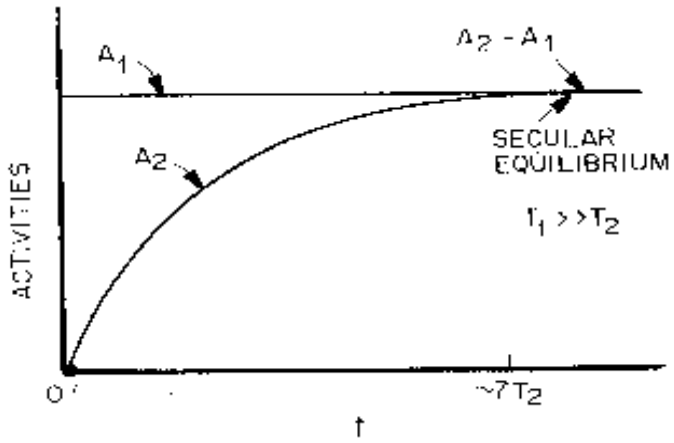
إذا كان N_1 (0) هو العدد الأصلي للنوى N_1 الموجودة فنستطيع أن نكتب من المعادلة (1):

$$N_1 = N_1(0)e^{-\lambda_1 t} \qquad (4)$$

بمكاملة العلاقة (2) وتعيين ثابت التكامل من الشروط البدئية للمسألة حيث نفترض الحالة الخاصة وهي أنه في اللحظة t = 0 كان العنصر الأم فقط موجوداً أي $N_1 = {}_1N$ (0) و $N_2 = {}_2N = {}_3N = 0$ فإننا نعوض في المعادلة (2) فينتج أن:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1(0)\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad (5)$$

أو تكتب بعبارة النشاط التي يعبر عنها بالمنحنى التالي:



الصورة 16 منحنى بياني يمثل نشاط النواتين الأم والبنت بدلالة الزمن.

$$A_2 = A_1(0)\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad (6)$$

7.2- التوازن الشعاعي:

التوازن الدائم ($_2T << {}_1T$) :

تحدث هذه الحالة عندما تكون الأم N_1 ذات عمر نصف طويل جدا T_1 بحيث يكون تناقص نشاط الأم مهملاً خلال فترة القياس. مثال:

$$T_2(Rn^{222}) = 4.8\ d. \quad T_1(Ra^{226}) = 1620\ Y$$

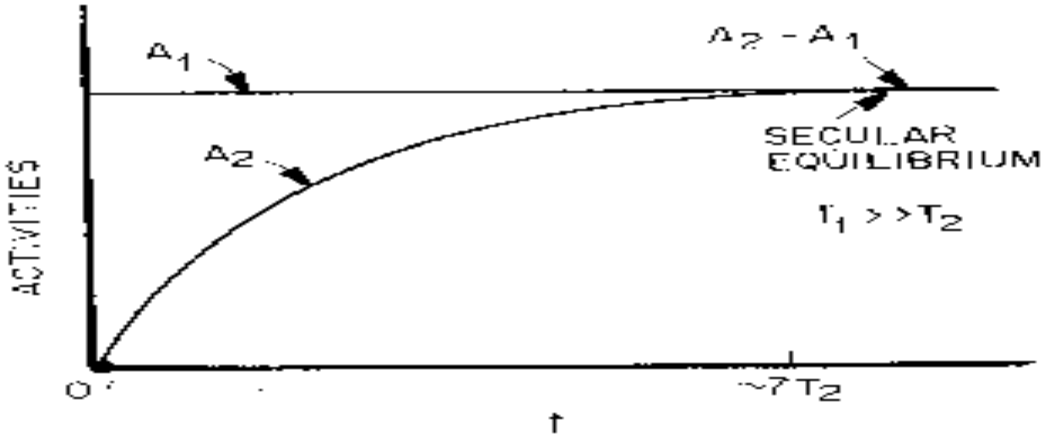
في هذه الحالة يكون $\lambda_1 \ll 0$ وبالتالي تصبح المعادلة (6) بالشكل:

$$A_2 = A_1\left(e^{-\lambda_2 t_2} - 1\right) \qquad (7)$$

فبعد مضي عمر نصف واحد للبنت نجد من العلاقة (7) أن:

$$A_2 = \frac{1}{2}A_1, \qquad e^{-\lambda_2 t} = \frac{1}{2}$$

وبعد مضي عمري نصف يكون A_2 ≫ ¾ A_1 وهكذا ..... الخ . بعد مضي زمن طويل جداً يكون $e^{-\lambda_2 t}$ ⋘ 0 ويكون نشاط البنت مساوياً لنشاط الأم. وعندما يحدث ذلك يكون ($A_1 = A_2$) يقال عندها أن البنت والأم في حالة توازن دائم.

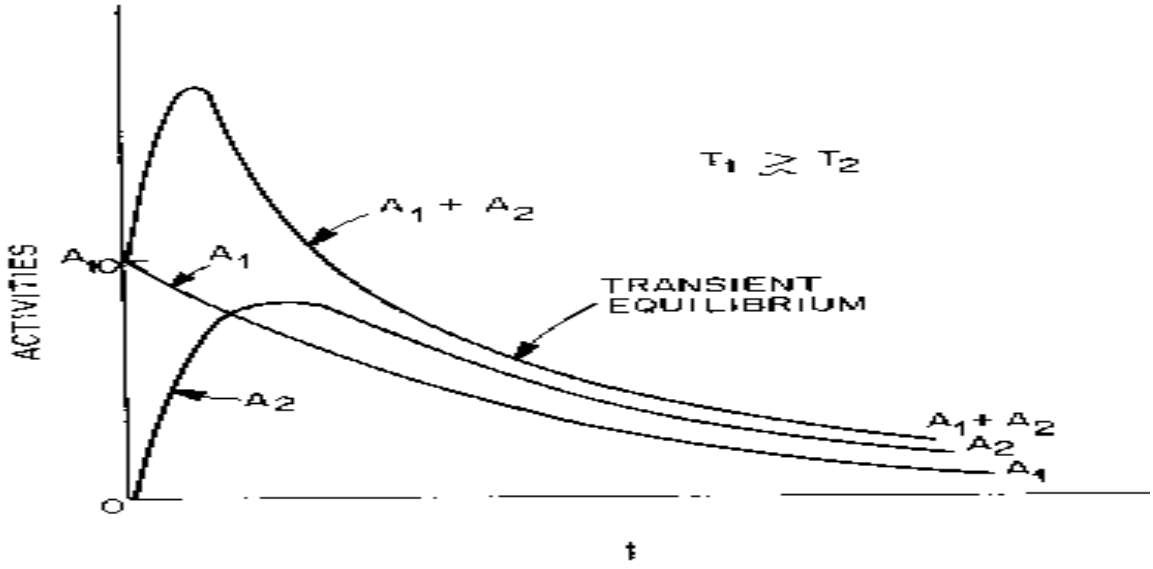


شكل (17) نمو نشاط البنت عندما يكون $T_1 \gg T_2$.

حالة التوازن عندما يكون $T_1 \gg T_2$

تحدث هذه الحالة عندما يكون عمر النصف للأم أطول من عمر النصف للبنت ولكنه ليس لانهائياً كمثال على هذه الحالة:

ويوضح الشكل (18) نمو نشاط البنت والتفكك لكلا الأم والبنت. ونلاحظ من الشكل أن نشاط البنت يزداد ويستمر في الازدياد إلى أن يصبح أكبر من الأم. ويبلغ قيمة أعظمية بعدئذ يتناقص ويتبع تفكك الأم.



شكل (18) نمو نشاط البنت وتفكك الأم.

يبين الشكل السابق نمو النشاط البنت وتفكك الأم. يتم أخيراً التوازن الانتقالي عند بلوغ هذه المرحلة من معدلات تفكك متوازية (أي يتناقص نشاط الأم والبنت ولكن نسبة نشاط الأم إلى نشاط البنت تكون ثابتة) عندها يقال أن البنت والأم في حالة توازن انتقالي. وتحسب نسبة نشاط البنت إلى نشاط الأم في التوازن الانتقالي كما يلي:

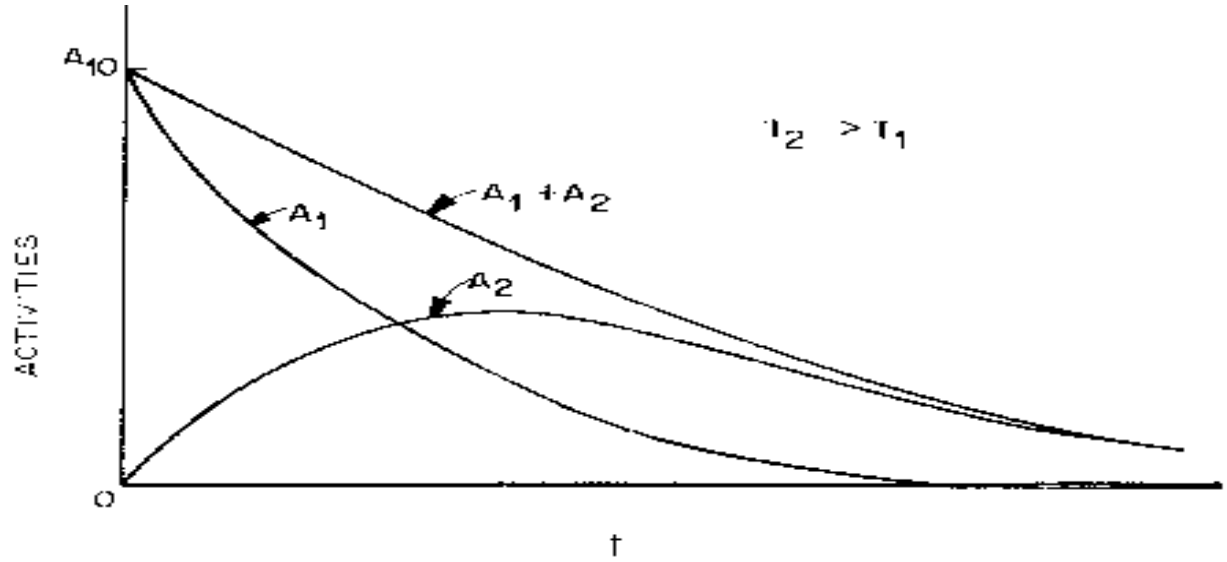
$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{T_1}{(T_1 - T_2)} \qquad (8)$$

ومع مرور الزمن فإن الحد $e^{-t\lambda_2}$ في العلاقة (5) يصبح مهملاً بالمقارنة مع $e^{-t\lambda_1}$ طالما أن $\lambda_2 \ll \lambda_1$ بالتعويض في العلاقة (5) ينتج أن:

$$A_2 = A_1(0)\frac{\lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)}\ e^{-t\lambda_1}$$

وبما أن $A_2 = A_1(0)\ ^{-t\lambda_1}$ نعوض فينتج أن $A_2 = A_1\frac{\lambda_2}{(\lambda_2-\lambda_1)}$ ومنه: يمكن حساب الزمن الذي يكون عنده نشاط البنت أعظميا أي مشتق نشاط البنت بالنسبة للزمن يكون معدوما أي:

$$\frac{d\,A_1}{\mathrm{dt}} = 0.$$



شكل (19) نمو النشاط وتفككه في حالة $T_2 > T_1$.

من أجل $t_{\max}$:

$$t_{\max} = [1.44T_1T_2/(T_1 - T_2)]ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \qquad (9)$$

حيث T_1 هو عمر النصف للأم، T_2 هو عمر النصف للبنت.

اللاتوازن ($T_1 < T_2$)

عندما يكون عمر النصف للبنت أطول من عمر النصف للأم فلا يحدث عندها أي توازن بينهما كمثال على هذه الحالة نأخذ:

$$T_1(Te^{131\mathrm{m}}) = 30\ h. \quad T_2(T^{131}) = 8\ d.$$

ويوضح الشكل (19) نمو نشاط البنت وتفككه من أجل زوج افتراضي للأم – بنت ونلاحظ من الشكل أن نشاط البنت يزداد إلى أن يبلغ قيمة أعظمية (مازالت المعادلة (2.52) قابلة للتطبيق من أجل t_{max}) ثم بعدها يبدأ النشاط بالتناقص.

أخيراً عندما يصبح نشاط الأم معدوماً تماماً عندها نجد أن نشاط البنت يضمحل تبعاً لعمر نصفه فقط.

- تطبيقات على العمر النصفي:

ا- التأريخ:

بفضل النظائر المشعة تم تأريخ عمر العديد من الأشياء كالأرض، أو زمن وفاة شخص ما، أو غيرهما، و كل تأريخ يحتاج إلى نظير معين وذلك حسب عمره النصفي، حيث لابد أن يكون عمر الشيء الذي نريد تأريخه من نفس رتبة العنصر المشع الذي نقوم بواسطته بالتأريخ أو أقل بقليل.

والجدول المقابل يوضح العمر النصفي لبعض العناصر المستعملة في تأريخ عمر الأرض خصيصا:

العنصر	فترة عمر النصف
بوتاسيوم A = 40	1.3×10^9 سنوات
بلوتونيم A =239	24400 سنة
كربون A =14	5730 سنة
سترانثيوم A =90	28 سنة
ماغنيسيوم A =28	21 ساعة
رادون A =224	55 ثانية

ب- تأريخ عمر الأرض:

نظراً لأن اليورانيوم ينتشر بكثرة على سطح الأرض وفي باطنها، وباعتقاد العلماء أن اليورانيوم موجود منذ نشأة الأرض قام العلماء بحساب "العمر الإشعاعي للأرض" عن طريق أخذ عينات من صخور القشرة الأرضية وتعيين نسبة اليورانيوم والرصاص في العينة، ومعرفة العمر النصفي لليورانيوم. استطاع العلماء تقدير عمر الأرض. كما وأنه من الممكن استخدام بعض العناصر المشعة التي احتُبست في الصخور أثناء تكونها في تقدير عمر هذه الصخور. وكلما مر عليها الزمن فإن نسبة العنصر المشع (مثلاً: بوتاسيوم A =40) تقل، بينما يزداد العنصر الناتج عن اضمحلال (أرجون A =40) ويمكن استخدام نسبة هذه العناصر في تقدير عمر هذه الصخور.

ج- التأريخ بالكربون:

تقوم الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية بتحويل غاز النيتروجين $^{14}_{7}N$ **إلى** الكربون المشع $^{14}_{6}C$ حسب المعادلة الآتية: $^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$ ، $^{14}_{6}C$ الناتج يتأكسد بسرعة معطيا $^{14}CO_2$ وتقوم الرياح بتوزيعه بشكل متجانس في الغلاف الجوي.

مبادئ طريقة التأريخ بالكربون:

المبدأ الأول:

في كل عام يتشكل 7.5 kg من $^{14}_{6}C$ ، و لكن في نفس الوقت تتفكك 7.5 kg من $^{14}_{6}C$ إلى $^{14}_{7}N$ بإصدار جسيمات β^-، و بذلك تبقى الكمية الكلية لـ $^{14}_{6}C$ ثابتة.

المبدأ الثاني:

النباتات والحيوانات تحتوي على كمية معينة من $^{14}_{6}C$ في أنسجتها تكتسبها النباتات عن طريق التركيب الضوئي و تكتسبها الحيوانات عن طريق التغذية أو التنفس. هذه الكمية متوازنة مع الـ $^{14}_{6}C$ للغلاف الجوي بسبب وجود كسب دائم لـ CO_2 الجوي.

المبدأ الثالث:

المبادلة التي تحدثنا عنها سابقا تتوقف بمجرد موت الجهاز العضوي، و منه لا يمكن تعويض ^{14}C المتفكك، وبالتالي تتناقص كمية الـ ^{14}C للجهاز العضوي الميت حسب القانون الأسي للتفكك الإشعاعي ابتدءا من هذه اللحظة (لحظة موت الجهاز العضوي).

المبدأ الرابع:

$$dN/Ndt=-\lambda \qquad N_t=N_0e^{-\lambda t}$$

حيث N_0: تمثل عدد النوى الأم (هنا هي ^{14}C) في اللحظة الابتدائية (لحظة موت الجهاز العضوي).

N_t: تمثل عدد النوى الأم في اللحظة t.

λ : ثابت التفكك الإشعاعي.

العمر النصفي لـ ^{14}C $\lambda/(\ln 2)=5730$ سنة .

إذن بمعرفة نسبة الكربون المشع في عينة معينة يمكن معرفة الزمن الذي انقضى على الوفاة .

الفصل السادس

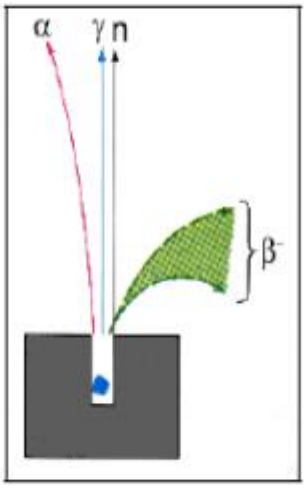
تفاعل الجسيمات مع المادة.

مقدمة: الهدف من دراسة تفاعل الجسيمات مع المادة هو معرفة الحصيلة الطاقوية لهذا التفاعل، كما يتم من خلاله دراسة خصائص المادة المتفاعل معها. ومن أجل دراسة كيف يتم هذا التفاعل لابد من معرفة خصائص بعض الأشعة الواردة للمادة.

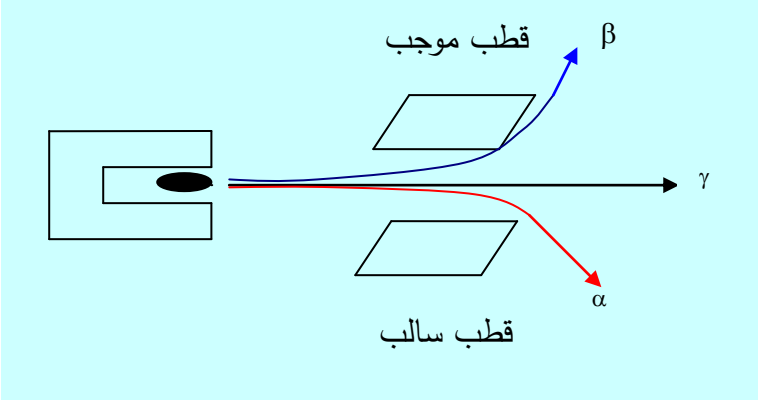
1-6- خصائص الإشعاعات α ،β،γ:

يمكن اكتشاف إن كانت الإشعاعات α ،β،γ مشحونة أم لا من خلال إخضاعهما للتجربتين التاليتين:

تجربة1: حيث نوضح فيها تأثير الحقل المغناطيسي على الإشعاعات α ،β،γ. نأتي بعينة مشعة، و نغمرها في حقل مغناطيسي، فنلاحظ أن الإشعاعات γ لا تنحرف، بينما الجسيمات α وβ تنحرف كل منهما في اتجاهين مختلفين و وفق مسارات دائرية، وفي الحقيقة هذا التصرف هو نفس تصرف شحنة كهربائية موضوعة في تأثير الحقل المغناطيسي على الإشعاعات α ،β،γ.



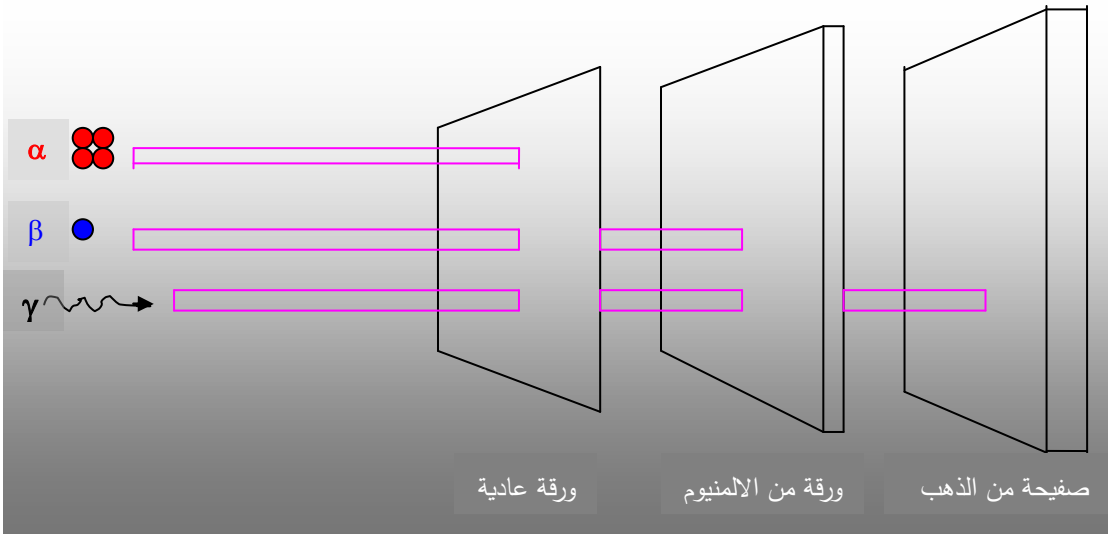
صورة -22- لتوضيح تجربة تأثير الحقل الكهربائي على الإشعاعات α ،β،γ).



صورة -23- لتوضيح تجربة اتجاه الإشعاعات الثلاثة نحو الأقطاب حسب الإشارة.

في حقل كهربائي، الإشعاع α تتجه نحو القطب السالب، و الإشعاع β يتجه نحو القطب الموجب، بينما الإشعاع γ يخترق الحقل الكهربائي دون أن ينحرف.

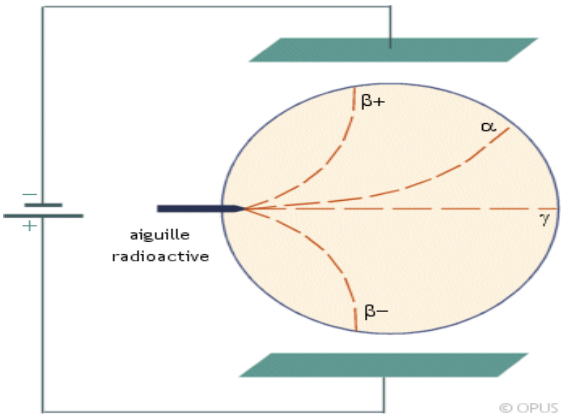
من التجربتين السابقتين نستنتج أن الإشعاع γ عديم الشحنة وهو الأخطر بين الأشعة، بينما الجسيمات α وβ مشحونة حيث α موجبة و β سالبة.



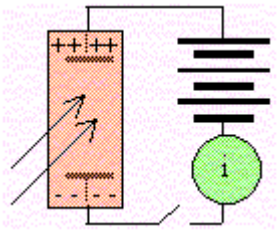
الصورة 24: توضح تجربة لتمييز خصائص الاختراق

من خلال هذه التجربة نلاحظ أن الإشعاع γ هو الأكثر اختراقا، ثم يليه الإشعاع β، ثم يليهما الإشعاع α و هو الأقل اختراقا. ومن هنا يمكن القول أن الإشعاع γ هو الأخطر من بين هذه الإشعاعات.

ولزيادة توضيح خاصية التأين للإشعاعات α، β، γ نستعمل إما غرفة ويلسن أو غرفة التأين الموضحين في الشكلين التاليين:



الصورة 25: غرفة ويلسن



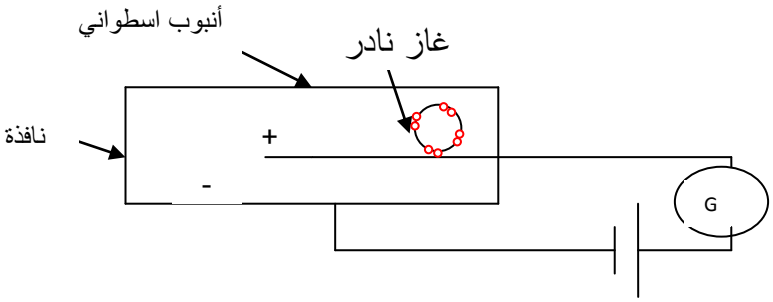
الصورة 26:غرفة التأيين.

للكشف على هذه الإشعاعات تستعمل أجهزة عديدة ومتنوعة، وسنتطرق فيما يلي إلى أحد هذه الأجهزة، وكيفية الكشف عن الأشعة بواسطته.

6-1-1- طريقة الكشف عن هذه الإشعاعات:

عداد جيجر (Geiger Counters):

هذا النوع من الأجهزة صغير، عملي وغير مكلف اقتصاديا، ويتكون من أنبوبة معدنية تملأ بغاز الأرغون أو النيون تحت ضغط منخفض(0.2 ضغط جوي). وسلك معدني ينطبق تماما على محور اسطواني ويوضع فرق جهد عالي بين الاسطوانة والسلك، وتقوم الإشعاعات الداخلة إلى الأنبوب (β أوγ) بتأيين جزيئات الغاز، مما ينتج عنه نبضة كهربائية يمكن الكشف عنها. ويعتبر هذا العداد أفضل في الكشف عن الجسيمات β ذات الطاقة العالية من الكشف عن الأشعة γ .



الصورة 27 رسم تخطيطي لعداد جيجر

لكي يستطيع الجسم المشحون الإفلات من الحيز الكهربائي يجب أن تكون لديه طاقة إثارة تفوق طاقة الحيز هذا الحيز .ويزداد احتمال انبعاث الجسيمات المشحونة كلما زادت إثارة النواة. وفي حالة التفاعلات التي يثيرها نفوذ النترونات إلى النواة كلما كانت طاقة النترونات أكبر كانت طاقة الجسيمات المشحونة أكبر. وإذا نفذت النترونات إلى النواة فإن التفاعل يكتب كما يلي:

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n - - - - \rightarrow {}^{A+1}_{Z}X^{*} - - - \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X + {}^{1}_{1}H $$

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n - - - - \rightarrow {}^{A+1}_{Z}X^{*} - - - \rightarrow {}^{A-3}_{Z-2}X + {}^{4}_{2}He $$

6-1-2- التفاعلات النووية التي يرافقها انبعاث النترونات.

إن انبعاث النترونات لا يتطلب طاقة كبيرة كالذي يتطلبه نبعاث الجسيمات المشحونة إذا كانت طاقة الجسيم النافذ للنواة صغيرة شديدة جدا فإن النواة تسخن إلى درجة حرارة عالية بحيث تتحرر بعض من جسيماتها. كما تبين أنه عند قذف الفضة بجسيمات ألفا أنه لا تنبعث النترونات إلا إذا تعدت طاقة الجسيمات ألفا أحدى عشرة ميقا إلكترون فولط وهذا معروف من الناحية التجربية. غير أنه إذا زادت قيمة هذه الجسيمات عن خمسة عشرة ميقا إلكترون فولط فإن النواة المقذوفة ينبعث منها نترونين، وإذا تعدت الطاقة قيمة 23 ميقا إلكترون فولط فتنبعث نترونات ثلاثة. (مكي الحسيني، ص 112 ، 1986).

وإذا كانت طاقة القذف تتراوح بين أربعين وعشرين ميقا إلكترون فولط وتكون الأجسام المقوف بها ديترونات فتتحول النواة مصدرة أربعة نترونات كما في المثالين التاليين:

$$ {}^{139}_{57}La \ + {}^{2}_{1}D \ - - \rightarrow {}^{141}_{58}Ce^{*} \ - - - \rightarrow {}^{137}_{58}Ce \ + 4{}^{1}_{0}n $$

$$ {}^{121}_{51}Sb \ + {}^{2}_{1}D \ - - \rightarrow {}^{123}_{52}Te^{*} \ - - - \rightarrow {}^{119}_{58}Te \ + 4{}^{1}_{0}n $$

وتنبعث من النواة خمس نترونات عندما تكون طاقة الديترونات تفوق الخمسين ميقا إلكترون فولط كما في المعادلتين التاليتين:

$$ {}^{121}_{51}Sb \ + {}^{2}_{1}D \ - - \rightarrow {}^{123}_{52}Te^{*} \ - - - \rightarrow {}^{118}_{52}Ce \ + 5{}^{1}_{0}n $$

$$ {}^{103}_{45}Rh \ + {}^{2}_{1}D \ - - \rightarrow {}^{105}_{46}pd^{*} \ - - - \rightarrow {}^{100}_{46}Pd \ + 5{}^{1}_{0}n $$

كما تستطيع الديترونات أن تسخن النواة إلى درجة حرارة كبيرة جداً تتبخر منها ستة نترونات شريطة أن طاقة الديترونات تقدر بستين ميقا إلكترون فولط :

$$ {}^{139}_{57}La \ + {}^{2}_{1}D \ - - \rightarrow {}^{141}_{58}Ce^{*} \ - - - \rightarrow {}^{135}_{46}Ce \ + 6{}^{1}_{0}n $$

ملاحظة: الجدير بالنظر هو تقسيم مثل هذه التفاعلات إلى قسمين هما:

النوع الأول: يسمى هذا التفاعل تفاعل الإلتقاط ويحدث هذا عند مرور الجسيم المقذوف به من النواة الهدف فيقتلع منها إحدى مكوناتها أو أكثر .

النوع الثاني: يحث في هذا التفاعل عكس مايحدث في النوع الأول، أي إذا تصادم الجسيم المقذوف به مع النواة أو إحدى مكوناتها فإنها تفقده إحدى مكوناته (أي الجسيم المقذوف به).

6-1-3- التفاعلات النووية التي تحدثها النترونات:

مهما كانت طاقة النترونات صغيرة فإنها تنفذ إلى النواة فإن النترونات فعالة في إحداث التفاعلات النووية فإن النترونات إذا نفذت إلى النواة مسببة تفاعلا نووياً وإذا كانت هذه النواة خفيفة يصاحب هذا التفاعل إنبعاث جسيمات مشحونة.

$$^{24}_{12}Mg \ + {}^{1}_{0}n \ \longrightarrow {}^{24}_{11}Na \ + {}^{1}_{1}H$$

$$^{23}_{11}Na \ + {}^{1}_{0}n \ \longrightarrow \ {}^{24}_{11}Na^{*} \longrightarrow {}^{20}_{9}F + {}^{4}_{2}He$$

ملاحظة: في التفاعلان السابقة النترون يتحرك في وسط مادي، أما إذا كان يتحرك في الفراغ فإنه يواصل حركته إلى أن يصطدم بالمادة ويحدث تفككا إشعاعيا.

الفائدة من التفاعلات التي تحدث بفعل النترونات:

أنه عند زيادة عدد النترونات وطاقتها يزداد احتمال حدوث هذه التفاعلات ويتجرى عملية الأسر النتروني أي:

$$^{27}_{13}Al \ + {}^{1}_{0}n \ \longrightarrow \ {}^{28}_{13}Al^{*} \ + \gamma$$

والفائدة الأخرى أن نتيجة التفاعلات الجارية بعمل النترونات تتشكل النظائر المشعة مثل نظائر الصوديوم والفلور والالمنيوم.

ونستفيد من التفاعلات النترونية الحصول على مختلف النظائر المشعة ويتفكك النظير المتشكل نتيجة نفوذ النترون إلى النواة وتنطلق جسيمات بيتا سالب.

– الفصل السابع: الطاقة النووية – الانشطار والاندماج:

- تبعثر وتبطئة النترونات
- التفاعل المتسلسل
- المفاعلات النووية
- الطاقة الحرارية النووية

1- الانشطار والاندماج النووي:

مقدمة: قبل الكلام عن الانشطار والاندماج يجب التذكير بالنقص الكتلي و وحدات الكتل رغم أننا تعرضنا لها فيما سبق.

1-3- الوحدات المستعملة للكتل والطاقة في الفيزياء النووية:

في النظام الدولي وحدة قياس الكتلة هي الكيلوغرام Kg، ووحدة قياس الطاقة هي الجول J.

أما في الفيزياء النووية فوحدة الكتلة هي وحدة الكتلة الذرية (u)، حيث: $1\ u \quad u = 1.6605402 * 10^{-27} Kg$

كتلتا البروتون والنيترون هما:

$m_p = 1.00727\ u$

$m_n = 1.00867 u$

ووحدة الطاقة هي الإلكترون فولط (eV)، حيث: $1\ eV = 1.60\ .\ 10^{-19} J$

2- علاقة التكافؤ طاقة – كتلة:

في 1905 وضع اينشتاين القواعد النظرية التي ساهمت في تطور العلوم، و هي النظرية النسبية، و هي التي قلبت مفهومي الزمان والمكان، وصاغت التكافؤ طاقة – كتلة.

كل جسيم (في حالة راحة) يملك كتلة سكونية m_0 . وطاقة E_0 تدعى طاقة الكتلة، وتعطى بالعلاقة: $E_0 = m\ c^2$ (c هي سرعة الضوء في الخلاء).

3- النقص الكتلي و طاقة الربط النووي:

ان مجموع كتل مكونات أي نواة أقل من الكتلة الفعلية للنواة، ونأخذ مثالا على هذا نواة ذرة الهليوم تحتوي على بروتونين، ونيوترونين، التي وُجد أن مجموع كتل مكونات نواتها أقل من كتلة النواة الفعلية، وأن هذا النقص أكبر من أن يعزى إلى الخطأ التجريبي.

بالاعتماد على نظرية آينشتين، قام العلماء بتفسير هذا الفرق، حيث أوضحوا أن الكتلة تكافئ الطاقة ($E=m\ c^2$). وتكون طاقة مكونات النواة (وهي متباعدة عن بعضها) أكبر من طاقتها وهي مرتبطة معاً لتشكيل النواة ويدعى الفرق بين هاتين الطاقتين (طاقة الربط النووية) والتي تعرف بأنها: الطاقة التي تربط نيكليونات النواة بعضها إلى بعض، أو الطاقة اللازمة لفصل مكونات النواة فصلاً كاملاً.

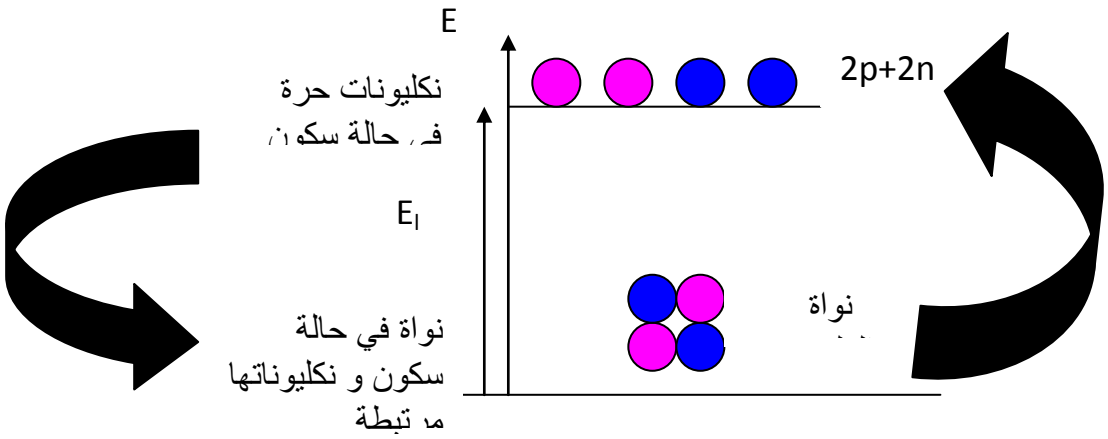
وهي تساوي: طاقة الربط النووية = $\Delta\ m\ c^2 = \Delta m \times 931$ مليون الكترون فولت/ و.ك.ذ.

حيث Δm: النقص في الكتلة، و تساوي: $\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m$

أي تعطى طاقة الربط بالعلاقة التالية: $E_l = \Delta m\, c^2 = (Zm_p + (A-Z)m_n - m)c^2$

4- طاقة الربط:

من علاقة اينشتاين، طاقة كتلة النكليونات في النواة أقل من طاقة كتلة نفس هذه النكليونات وهي حرة وفي حالة سكون(الشكل 21).



الشكل 21 المخطط الطاقي للإنشطار.

النواة إذن تقع في أسفل المخطط الطاقي: - النواة أكثر استقرارا من النكليونات الحرة في حالة السكون.

أ- تحطيم النواة:

عندما تتحطم نواة وتحرر نكليوناتها (مثال: $_2^4He \rightarrow 2\,p+2\,n$) كتلة النظام تزداد بـ $|\Delta m|$ وطاقة كتلتها تزداد بـ $|\Delta m|.c^2$ ، وهذا لا يمكن أن يحدث إلا إذا كان الوسط الخارجي يوفر طاقة.

تعريف طاقة الربط: طاقة الربط $E_l = |\Delta m|.c^2$ هي الطاقة التي يجب أن يوفرها الوسط الخارجي لتحطيم نواة في حالة سكون إلى نكليوناتها حرة وفي حالة سكون.

ب- تشكيل نواة:

عندما تتشكل نواة انطلاقا من نكليوناتها الحرة وفي حالة سكون (مثلا):

$2p+2\,n \rightarrow {}_2^4He$) كتلة النظام تنقص بـ $|\Delta m|$ وطاقة كتلته تنقص بـ $|\Delta m|.c^2$ ، الوسط الخارجي يستقبل إذن طاقة $E_l = |\Delta m|.c^2$.

5- طاقة ربط نكليون:

طاقة الربط E_l تزداد مع عدد النكليونات المحتواة في النواة.لمعرفة استقرارية الأنوية نقدر طاقة الربط لنكليون.

تعريف:

طاقة الربط لنكليون في نواة هو حاصل قسمة طاقة الربط على عدد النكليونات للنواة.(E_l/A)

ويعبر عنها بـ MeV/nucléon.

1- تبعثروتبطئة النترونات:

المقصود بتبعثر النترونات أنه عند قذف نواة ما ببروتون يظهر بروتون في النواتج كما في المعادلة التالية:

$$ {}^{A}_{Z}X \quad + {}^{1}_{0}n \quad \longrightarrow \quad {}^{A}_{Z}X^{*} \quad + {}^{1}_{0}n $$

تسمى هذه العملية تبعثر النترونات إلا أنه في الحقيقة هي أن النترون المنبعث من النواة يختلف من الناحية الطاقية عن النترون المقذوف به، ينتج التفاعل السابق نترون يختلف عن سابقه ونواة مثارة ويصاحب عودة النواة إلى الحالة المستقر صدور أشعة جاما. (مكي الحسيني، 1987، ص 124).

2- التفاعل المتسلسل:

للمفاعلات النووية فوائد عديدة إذا أحسن استخدامها في نفع الإنسان ورفاهيته ومن هذه المنافع العظيمة توليد الطاقة النووية وتحويلها إلى طاقة كهربائية بواسطة ما يعرف بمحطات القوى الكهربائية ويمكن الحصول عليها بواسطة المحطات الحرارية التي تعمل بالوقود العادي ليس لها حوادث تذكر بالمقارنة بما يحدث للمفاعلات النووية القديمة وتسرب الإشعاعات إلى الأماكن القريبة منها والأخطار الناتجة عن النفايات النووية من هذه المحطات وآثارها الضارة على البيئة.

حيث - إن للأرض موارد محدودة من النفط والفحم وهذه الموارد ستستخدم خلال 25 سنة مايفوق 1.4 ترليون برميل .وتقدر الكميات المؤكدة من احتياطي النفط بالعالم بحدود 4.4 ترليون برميل ,حيث متوسط الاستهلاك السنوي بحدود 69 مليون برميل نفط. لغرض المقارنة فإن طن واحد من اليورانيوم يعطي طاقة تعادل الطاقة الناتجة من ملايين الأطنان من الفحم أو ملايين البراميل من النفط الآثار الجانبية لحرق الفحم والنفط يؤدي إلى تلوث البيئة بينما مفاعل نووي مصمم بشكل جيد ويعمل تحت رقابة وإشراف جيدين لا يؤدي إلى إطلاق أي تلوث في الجو.

4- مفهوم المفاعل النووي:

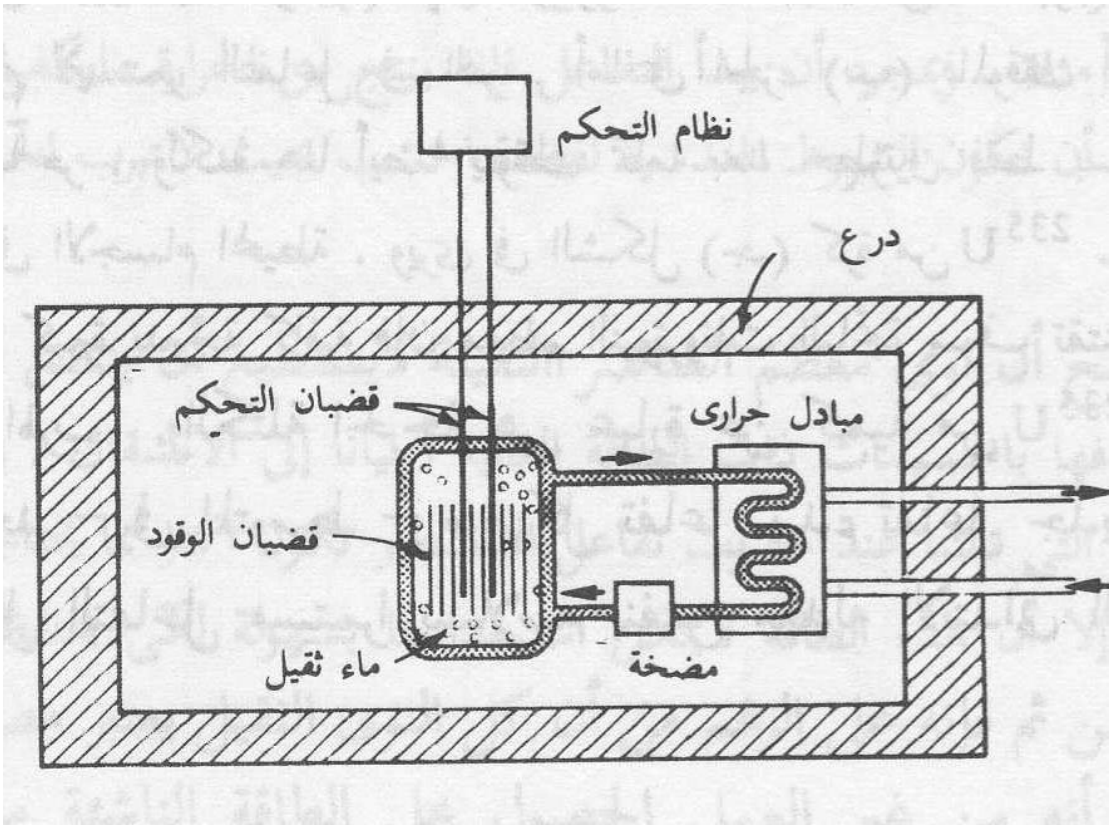
هو الجهاز الذي يحدث فيه التفاعل المتسلسل، و هو جملة من الوقود النووي والمهدئ والعاكس وبنية مناسبة بحيث يتم التحكم والمحافظة على التفاعل المتسلسل. وهو تجهيز يتم فيه تحويل الطاقة الحرارية الناتجة من حرق الوقود إلى إحدى صور الطاقة الأخرى لاستخدامها في غرض معين.

وقد أصبحت المفاعلات النووية في أواخر القرن العشرين مصادر طاقة هامة جدا لتوليد التيار الكهربائي والانتفاع به في مجال الصناعة والزراعة وفي تحلية المياه المالحة بالإضافة إلى استعمال نتاجات الانشطار النووي كالنظائر المشعة في المجالات الطبية والزارعية.

مهمة المفاعل النووي:

يقوم المفاعل النووي بتحويل طاقة الربط النووي من خلال الانشطار النووي إلى حرارة وهذه الأخيرة تحول إلى أشكال أخرى من الطاقة، يحصل ذلك بسبب تفاعل متسلسل نتروني ولديمومة هذا التفاعل المتسلسل في مفاعل حراري مثلا فإن المكونات التالية: مادة الوقود والمهدئ والعاكس هي ضرورية. تحدث الانشطارات النووية في مادة الوقود وتولد النترونات المحررة بدورها انشطارات نووية أخرى، لزيادة احتمالية الانشطار تكبح النترونات السريعة الناتجة.

بمساعدة مهدئ الذي يعمل على خفض سرعتها عند طاقة حرارية محددة و تقسم المفاعلات مبدئيا.



الصورة 28: شكل مبسط لمفاعل نووي.

المفاعلات ذات المهدئ:

وتسمى مفاعلات حرارية تحدث فيها الانشطارات بسبب النترونات الحرارية مع ذلك فإن احتمالية انشطار عال يكون ممكنا أيضا دون مهدئ، يجب في هذه الحالة أن تكون لمادة الوقود مقطع تفاعل انشطار عال، ونسمى المفاعلات التي ليس لها مهدئ بالمفاعلات السريعة وهي التي تحدث فيها الانشطارات بسبب النترونات

السريعة .ولكي لا ينفلت من قلب المفاعل والمهدئ إلا القليل من النترونات يحاط قلب المفاعل بعاكس الذي يعيد النترونات الهاربة مجددا إلى قلب المفاعل كما في الشكل (1-1)، هناك عناصر تحكم ضرورية للتحكم بالتفاعل المتسلسل وبمساعدة مواد ماصة للنترونات، كما يمكن التحكم بالتفاعل المتسلسل من خارج المفاعل، و نشير أن أهمية وسيط التبريد والتحجيب قليلة بالنسبة للتفاعل المتسلسل. ويتم نقل الطاقة المتحررة لدى الانشطار من قبل وسيط التبريد إلى خارج المفاعل.

أما التحجيب فيضعف الإشعاع النووي الصادر عن قلب المفاعل بحيث لا يكون ضارا بالنسبة لجوار المفاعل.

وسنركز اهتمامنا على المهدئات نظرا لدورها الضروري في المفاعلات الحرارية.

1- قضبان التحكم

2- المهدئ

3- الوقود

4- التدريع

5- خروج البخار

6- وسيط التبريد..

7- العاكس

2- هندسة المفاعلات النووية:

يتم تصميم المفاعلات النووية بحيث تحافظ على ديمومة التفاعل المتسلسل وتحمي كل ما هو خارج المفاعل النووي من الأشعة المنبعثة بواسطة درعها الواقي. إن الغرض من بناء المفاعلات النووية هو استخدامها لتوليد الطاقة الحرارية أو الكهربائية لإنتاج المواد المنشطرة، لتسيير وسائل النقل ولاستخدام أشعتها في المجال الطبي.

2-1-المكونات اللا زمة لديمومة المفاعل المتسلسل:

حتى يدوم التفاعل المتسلسل في مفاعل حراري فإ ن مواد الوقود والمهدئ والعاكس هي ضرورية جدا، ونوضح ذلك في ما يلي:

أ - مادة الوقود:

إن وظيفة مادة الوقود هي إنتاج الطاقة وتقديم نترونات جديدة بفعل الانشطار النووي. لذا فإن هذه المادة يجب أن تحتوي على نوى جديدة قابلة للانشطار.

ب- المهدئ(كابح النترونات):

إن النترونات الناتجة عن مادة الوقود من خلال الانشطار تظهر طاقة حركية عالية تبلغ قيمتها الوسطية 2 Mev، وبما أن مقطع الانشطار لهذه النترونات السريعة صغير جدا، لذا يمتلك المفاعل الحراري مهدئا

وظيفته كبح النترونات السريعة حتى طاقة حرارية قدرها 2025 MEV يحدث الاكتباح من خلال تصادمات النترونات مع نوى المهدئ، تستعمل في مفاعلات المحطات النووية مواد مهدئة مثل الغرا فيت C ،الماء H2O ، وفي حالات نادرة يستخدم الماء الثقيل كمهدئ.

ج - العاكس:

إن النترونات الموجودة في حافة قلب المفاعل يمكن أن تنفذ إلى الخارج، ولكي لا ينفذ الكثير من هذه النترونات يحاط قلب المفاعل بعاكس. هكذا يصبح بالإمكان التوفير في مادة الوقود وتكمن جودة العاكس في نسبة النترونات الكائنة في قلب المفاعل، وكذا عندما يمتلك صفات الانتثار والتبعثر الجيدة من أجل النترونات السريعة أي صفة منع انفلات النترونات من قلب المفاعل.

2- التفاعل المتسلسل:

تتحرر عند انشطار النوى طاقة هائلة، حوالي 200 إلكترون فولت لكل نواة منشطرة. وكذا يصاحب هذا الانشطار انطلاق نيترونات إضافية معدل هذه النيترونات الناتجة هو من 3 إلى 2.5 نيترون لكل تفاعل انشطاري أي في حالة انشطار نواة واحدة.

ولتوضيح أهمية ذلك، لنفترض أننا بدأنا بقصف نواة اليورانيوم بنترون فتنشطر هذه النواة معطية نيترونين، لنفترض أن كلا منهما ينفذ إلى نواة من أنوية اليورانيوم ويسبب انشطارها فيحدث: أربعة نيترونات جديدة، وهذه النيترونات تسبب انشطار أربعة أنوية وانبعاث ثمانية نيترونات.

- وفي الجيل التالي نجد ستة عشر نيترونا ثم اثنان وثلاثون وهكذا . . . أي أن كل من كمية النيتر ونات المتحررة وكمية الأنوية المنشطرة تزداد باستمرار.

- منحنى Aston:

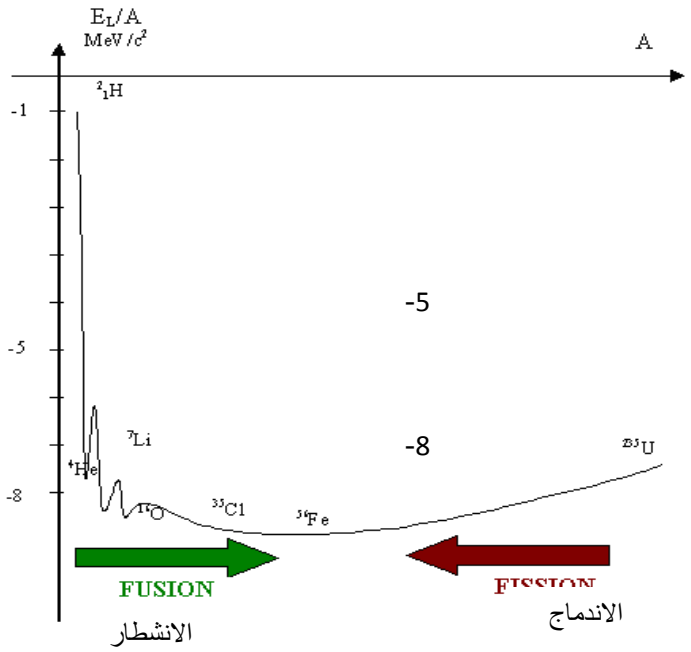
منحنى أستون هو تمثيل الكمية (E_l/ A -) بدلالة A، اختير هذا التابع من أجل أن تكون في المخطط الطاقوي الأنوية الأكثر استقرارا (أي التي لها أكبر قيم لـ (E_l / A) في أسفل المنحنى.

ويعتبر وسيلة بيانية جيدة لدراسة خواص النواة واستقرارها.

- الأنوية المستقرة:هي التي لها طاقة ربط نكليون أكبر من (8 Mev/nucléon) وعددها الكتلي A يتراوح بين 20 و 195. في الشكل (5) تظهر في أسفل المنحنى.
- الأنوية غير المستقرة: يمكن أن تتصرف بطريقتين:

ا- الأنوية الثقيلة (A>195) مثل اليورانيوم 235، يمكن أن تنشطر إلى نواتين خفيفتين منتميتين بذلك إلى مجال الاستقرارية، وهذا النوع من التفاعلات النووية يسمى الانشطار.

ب- بعض النوى الخفيفة مثل: $_1^1H$ ، $_1^2H$ ، $_1^3H$ ، ... تستطيع أن تندمج لتشكل نواة تقع في أسفل المخطط الطاقوي، وهذا النوع من التفاعلات النووية يسمى الاندماج.



صورة 29 : توضع طاقة الربط للانشطار والاندماج

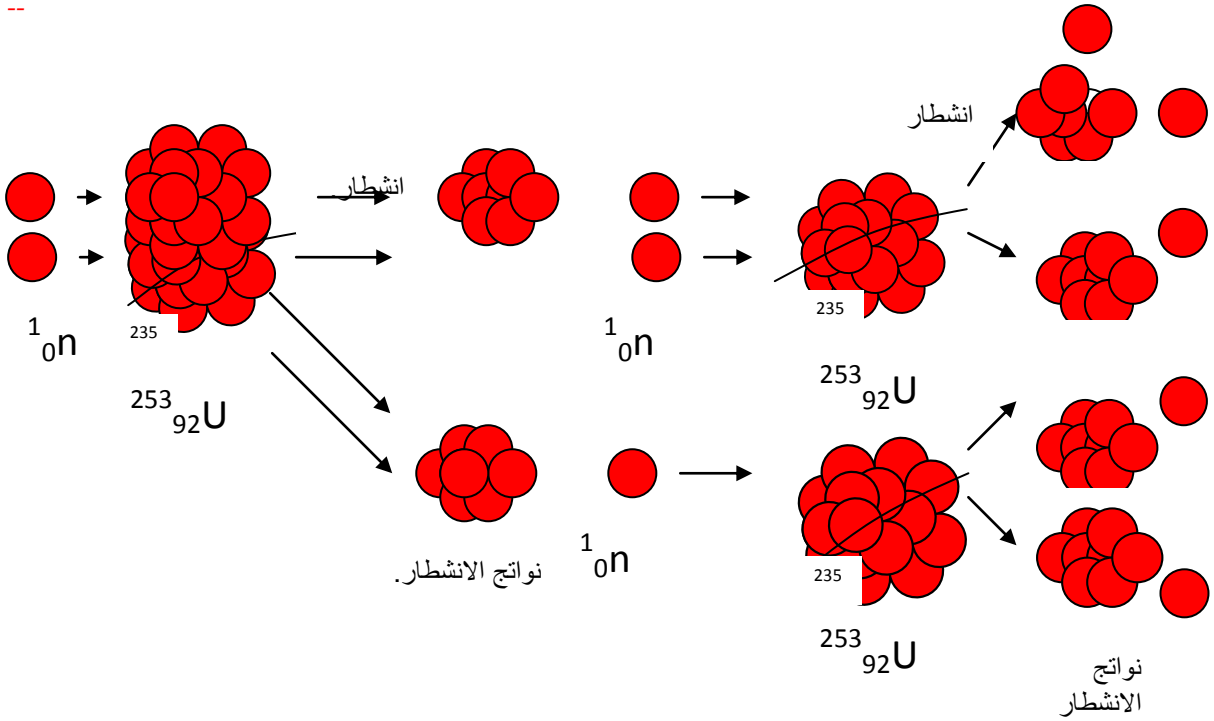
-- الانشطار:

برهن هان و ستراسمان (Hahn et F.Strassmann) أنه عند اصطدام نيترون بنواة اليورانيوم 235 يمكن لهذه الأخيرة أن تنقسم إلى نواتين أخف. يمكن أن ينتج عن هذا الانشطار أكثر من 80 نواة مختلفة مشعة، كما ينتج عنه نيترونات أخرى التي يمكن بدورها هي أيضا أن تعطي انشطارات أخرى كما توضحه معادلتي تفاعلي الانشطار التاليتين:

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

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{91}_{36}Kr + ^{142}_{56}Ba + 3\,^{1}_{0}n\,.$$

--



صورة 30 توضح الانشطار المتسلسل.

تعريف:

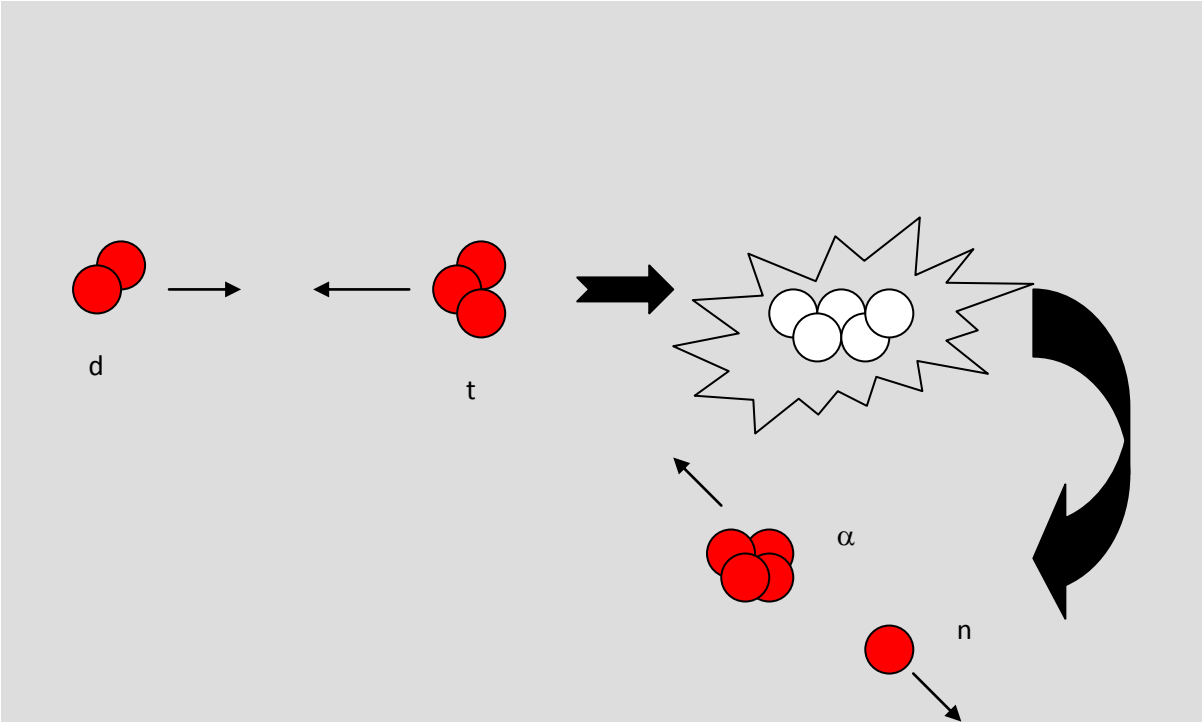
الانشطار هو تفاعل نووي يتم خلاله انقسام نواة ثقيلة (مثل اليورانيوم 235) إلى نواتين أخف تحت تأثير اصطدامها بنيترون.

- الاندماج:

تعريف:

يكون الاندماج النووي عندما تتوحد نواتان خفيفتان تحت تأثير اصطدامهما لتشكل نواة أثقل.

مثال: اندماج نواتي الديتريوم و التريتيوم.



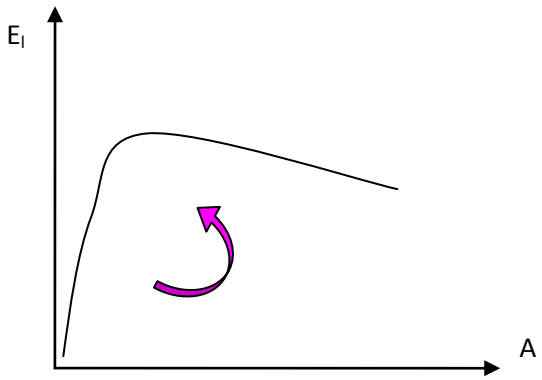
الصورة 31 : الاندماج النووي للأنوية الخفيفة.

- الحصيلة الطاقوية للاندماج والانشطار النووي:

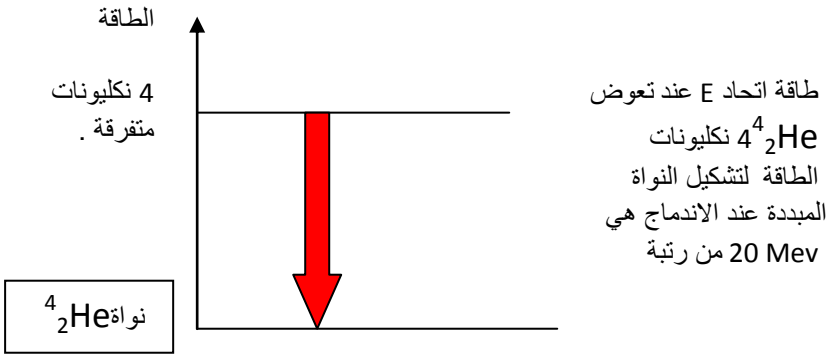
في كل الحالات تقود التحولات النووية إلى أنوية حيث طاقات الربط للنكليون تكون أكبر.

ا- حالة الاندماج:

اندماج الهيدروجين في الشمس يعطي:

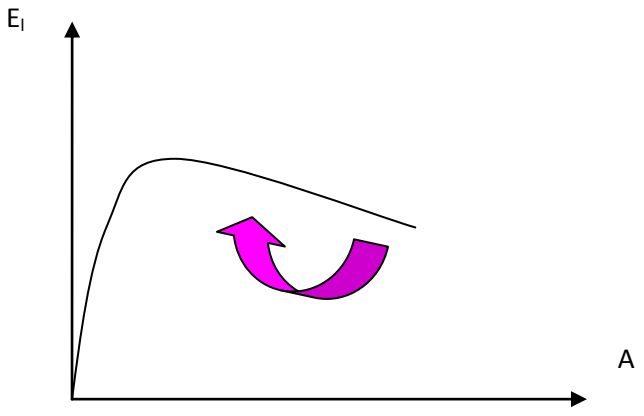


صورة 32 : منحنى الطاقوي لاندماج أربع ذرات هيدروجين.



الصورة 33 : تمثل طاقة اندماج مكونات نواة الهليوم.

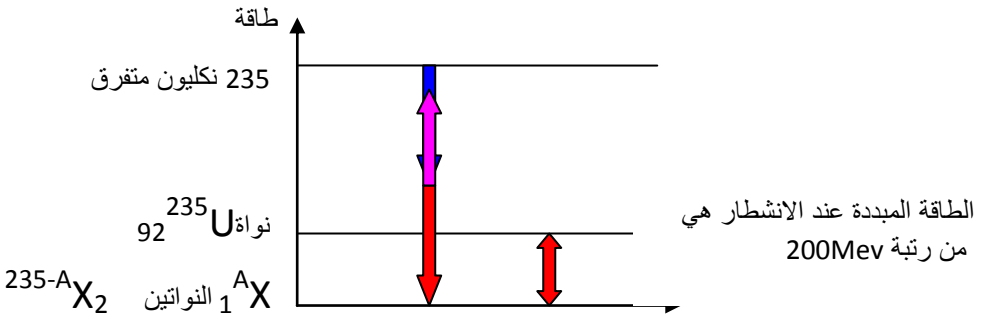
ب – حالة الانشطار: يتم الانشطار عند الأنوية الثقيلة التي تملك عدد كبير من النيكليونات وتكون غير مستقرة وتسعى لكي تكون غير ذلك فتنقسم إلى نواتين أو أكثر ويتناقص عدد النيكليونات ويزاد الاستقرار.



صورة 34: تمثل منحنى انشطار لنواة اليورنيوم وتناقص العدد الكتلي A.

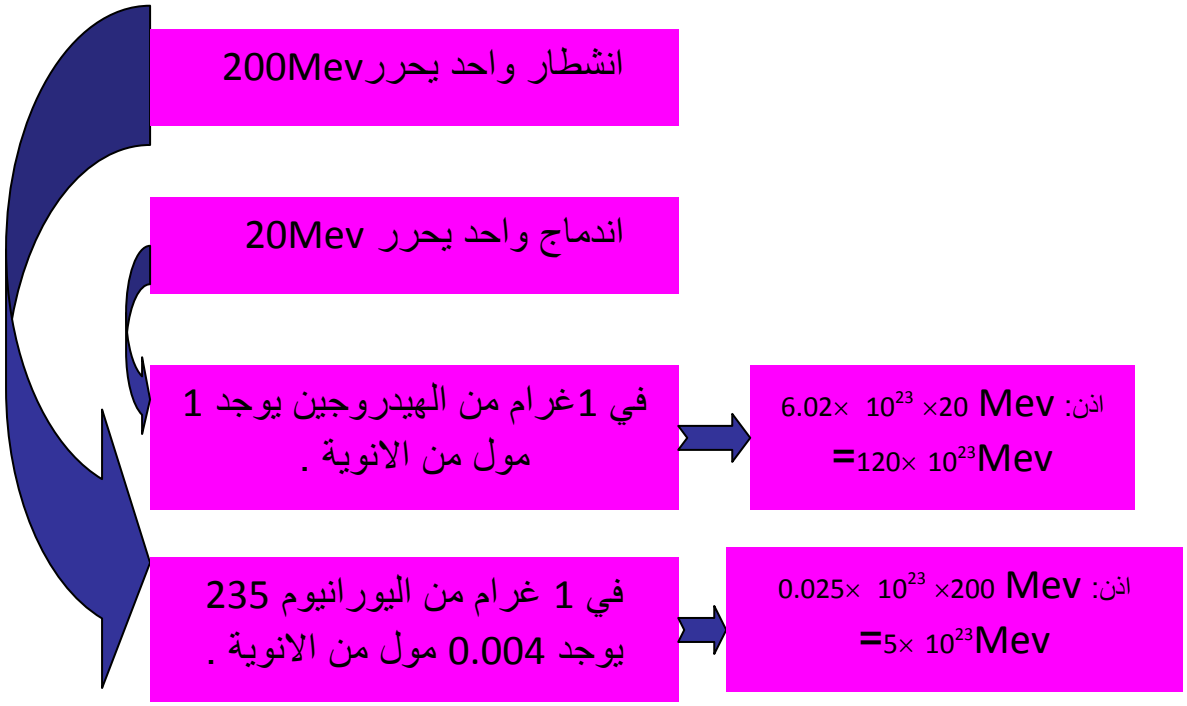
مثال : حصيلة انشطار لنواة اليورنيوم 234

$$_{92}^{235}U \rightarrow {}_{1}^{A}X + {}^{235-A}X_2$$



الصورة 35: الطاقة المبددة عن الانشطار.

نقول أن الاندماج أكثر مردودية من الانشطار من الناحية الطاقوية والحال أنّه تتم المقارنة كما يلي:



الصورة 36: تمثل المقارنة بين طاقتي الانشطار الاندماج.

التمارين المقترحة :

التمرين الأول:

لتكن لدينا Δm النقص في كتلة النكليد ${}^{A}_{Z}X$ نعرف نسبة التغليف بالعبارة التالية $f = \frac{\Delta m}{A}$ وهي تشبه الطاقة المتوسطة للربط لكل نيكليون بحيث عندما تكون A كبير بما فيه الكفاية فإن f تحقق العلاقة الآتية: $10^6 f = -16 + \frac{X_0 A}{11}$ $X_0 = 1\text{uma}$.

إذا كان انشطار نواة اليورانيوم 235 حسب التفاعل التالي:

$$U^{235} + n^{1} ----\rightarrow X^{90} + Y^{143} + n^{3}$$

أحسب النقص في الكتلة لكل من المتفاعلات والنواتج.

أحسب الطاقة المتحررة عن الانشطار.

احسب كمية الطاقة المتحررة للتفاعل الاندماجي النووي الآتي:

$$^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \; ----\cdots\rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He$$

التمرين الثاني:

احسب كمية الطاقة المتحررة من تفاعل اندماج لسلسلة البروتون-البروتون المعطى في الشكل:

$$4\,({}^{1}_{1}H) ------\longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2(\beta^{+}) + 2\nu$$

التمرين الثالث:

كم هي كتلة اليورانيوم 115 التي انشطرت في القنبلة الذرية الأولى التي كانت TNT طاقتها تكافئ 19 كيلو طن من المادة المتفجرة، حيث:

1KTon (TNT)=5*10^{12} Joule

- كم كانت كتلة اليورانيوم التي تحولت إلى طاقة.

التمرين الرابع:

كم هي كتلة اليورانيوم 115 التي يجب أن تخضع الانشطار كل يوم لتجهيز 3000 من القدرة الحرارية MW .

التمرين الخامس:

ما هي مزايا ومساوئ استعمال الماء العادي كمهدئ في المفاعلات النووية.

يقضي العلماء وقت معتبرا في البحث عن أماكن صالحة لإقامة مفاعلات نووية عليها، لماذا؟

قائمة المراجع:

1- أ .د محمد فاروق أحمد، أ .د أحمد بن محمد السريع، مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها، سلسلة من النشرات المتخصصة تصدرها اللجنة الدائمة للوقاية من الإشعاعات بجامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية 2007 م.

2- أ .ن كليموف، ترجمة الدكتور مجدي مصطفى إمام، الفيزياء النووية والمفاعلات النووية، دار مير للطباعة والنشر – الاتحاد السوفياتي 1980م.

3- أ.د. محمد فاروق أحمد - أ.د.أحمد بن محمد السريع، مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها، الطبعة الثانية، جامعة الملك سعود، 1991، المملكة العربية السعودية.

5- د.محمد قاسم محمد الفخار، الإشعاع ومصادره وتأثيراته البيولوجية، ايتراك للنشر والتوزيع القاهرة-، مصر، 1994.

6- د .مكي الحسني، مدخل إلى الفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجامعية الساحة المركزية، بن عكنون الجزائر، 1995.

7- د .مناف عبد الحسن، الفيزياء النووية، دار صفاء للنشر والتوزيع – عمان، الطبعة الأولى 1996م - 4412هـ

8- محمد حبيب بركات، أساسيات الفيزياء النووية، الطبعة الأولى 2008 دار الفكر المملك الأردنية الهاشمية.

9- ماير هوف ترجمة عاصم عبد الكريم عزوز، مبادئ الفيزياء النووية، الجمهورية العراقية جامعة الموصل، المكتبة العامة لأمانة عمان الكبرى 1993 م.

4- عبد الكريم معيرش، المبادئ العامة للفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجامعية، بن عكنون الجزائر 2011.

[10]Physique nucléaire et applications : Cours et exercices corrigés,

[11]A.de Shalit & H. Feshbach, Theoretical Nuclear Physics, 2 vol.John Wiley & Sons, 1974. Volume 1: Nuclear Structure; volume 2 :Nuclear Reactions.

[12] Physique Subatomique PHQ 636, David Senechal, Département de physique Faculté des sciences, Université de Sherbrooke 30 Décembre 2008.printing Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1974).

[13] L. I.Schiff, Quantum Mechanics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York(1968).Wiley and Sons, New York (1952).

[14] J. D. Walecka, Lectures on Electron Scattering, ANL-83-50, ArgonneNational Laboratory, Argonne, Illinois (1984).