الفصل الأول

1 ـ مقدمة تاريخية:

اعتقد الفلاسفة القدماء منذ عصر الإغريق أن المادة تتألف من جسيمات صغيرة جداً لا ترى بالعين المجرّدة، ولا يمكن تقسيمها في الظروف العادية إلى أجزاء أصغر منها ولقد سميت هذه الجسيمات بالذرات (Atoms) ومعناها باليونانية «الشيء الذي لا يمكن تقسيمه»[1] وظهرت هذه التسمية في أعمال الفلاسفة القدماء أمثال ديموقريطس (Democritus) و ابيقور (Epicurus) ولم تبدأ دراسة الذرّات بشكل علمي إلا في القرن السادس عشر حيث تحدث جوردانو برونوا (Giordano Bruno) عن ذلك جهاراً. وفي القرن السابع عشر أصبحت دراسات جوردانو كفرضية علمية مثبتة من قبل ديكارت (Decarte) وجاسيندي (Gassendi) ونيوتن (Newton)[2].

وفي عام 1808 ترسخت «النظرية الذرّية» على أسس ثابتة، حيث أصدر الكيميائي الإنكليزي جون دالتون (John Dalton) كتاباً شرح فيه الذرّة

(1) قصة الطاقة النووية ـ مترجم، ايساك ازيموف ـ منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي، دمشق 1983، ص 11.

(2) الكيمياء الفيزيائية ـ مترجم ـ دار مير للطباعة والنشر ـ موسكو، ف. كيرييف 1979، ص 19.

بالتفصيل. ومع بداية القرن التاسع عشر تم الاعتراف بالمفاهيم الذرّية على نطاق واسع.

وفي مطلع القرن العشرين، ولدى دراسة مجموعة جديدة من الظواهر اكتشف أن بإمكان بعض الذرّات أن تطلق أجزاء أصغر منها، أو جسيمات أبسط، وبنتيجة دراسة ظواهر الفاعلية الإشعاعية والتفريغ الكهربائي في الغازات والتحليل بالكهرباء وبعض الظواهر الأخرى. فقد وجد أن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تدخل في تركيب ذرّات جميع العناصر. وطالما أن الذرّات تعتبر محايدة في الحالة العادية، لذا يجب أن تحتوي أيضاً على جسيمات ما ذات شحنة موجبة تعرف (بالبروتونات)[3].

وهكذا نجد أن الذرّة تتكون من نواة موجبة الشحنة، تشغل حيزاً صغيراً جداً يكاد لا يذكر بالنسبة إلى حجم الذرّة ككل، ولكنها تتضمن الجزء الأكبر من كتلة الذرّة، وتتساوى الشحنات السالبة بشحنة النواة، وهي تتحرك بسرعة كبيرة جداً حول النواة ضمن مستويات معينة للطاقة، وهذه الشحنات تتحرك ضمن مدارات محددة، وتحديد مواقع الإلكترونات تخضع للاحتمالات.

تبلغ قطر النواة ما يعادل واحد على مليون من قطر الذرّة وعلى الرغم من هذا الصغر فإن النواة تتألف من مجموعة من البروتونات الموجبة والنيوترونات المتعادلة، ويطلق اسم النيوترون على جسيم ذي كتلة مساوية لكتلة البروتون ولكنه بدون شحنة، وتكون النيوترونات غير ثابتة في خارج النواة، وهي في هذه الحالة عبارة عن جسيمات مشعّة تبلغ فترة نصف عمرها 12,8 دقيقة.

(3) Nuclear Power Engineering — D.K. Singhai — Khanna Publishers — Delhi — 6 — 1989 — p. 16.

النيوترون:

يعود سبب اكتشاف النيوترون إلى العالِم ريذرفورد الذي افترض حتمية وجود جسيم بدون شحنة كهربائية (جسيم متعادل)، يساوي بكتلته كتلة البروتون. وتم إثبات هذا الاعتقاد في عام 1932 على يد العالِم شادويك (Chadwiek)، حيث أن هذا الجسيم تأخر اكتشافه نظراً لأنه لا يتفاعل مع الإلكترونات، فلذلك هو لا يترك خلفه أثراً. وتم اكتشاف النيوترون أثناء عملية قذف البريليوم بجسيمات ألفا[4].

$$_4Be^9 + {}_2\alpha^4 \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$$

n ــ تعني النيوترون.

ويتم حساب عدد النيوترونات بالطريقة التالية: توضع في طريق الشعاع النيوتروني، مادة تحتوي على ذرّات البورون (B) وعند التقاء النيوترون بنواة البورون، ينتهي وجوده وهنا يحدث التفاعل التالي:[5]

$$_5B^{10} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_3Li^7 + {}_2\alpha^4$$

وكما نشاهد لقد اختفى النيوترون وظهر جسيم ألفا وهكذا يمكن أن نقيس بدقة شدة الشعاع النيوتروني من خلال قياس أشعة ألفا، أو من خلال حساب كمية البورون المتحولة إلى مادة الليثيوم (Li).

إذن يمكن القول إن النيوترونات والبروتونات هما حالتين ديناميتين

(4) الفيزياء النووية والذرية ــ هنري سيمان ــ مترجم، مطبعة الرابطة ــ بغداد 1962، ص 382.

(5) الفوتونات والنويات، الكسندر كيتاجوردسكي ــ (مترجم) دار مير للطباعة والنشر، موسكو، 1985، ص 236.

مختلفتين لجسم أولي واحد يمكن إطلاق عليه اسم النيوكلون (Nucleon[6]).

2 ـ المواد المشعّة:

إن اكتشاف المواد المشعّة يعود إلى سنة 1896 حيث أثبت العالِم الألماني رونتجن (Rontgen) وجود نوع غير معروف من الأشعة يخترق الورق والخشب وجسم الإنسان والصفائح المعدنية الرقيقة، وعرفت هذه الأشعة بأشعة رونتجن، وقد تبيّن بعد سلسلة من الاختبارات أن هذه الأشعة تنبعث من بعض المواد دون غيرها، ومن هذه المواد أملاح اليورانيوم والبوتاسيوم. هذا وكان قد اهتم بهذه الظاهرة الفيزيائيان الفرنسيان السيد والسيدة كوري (عام 1898) وقد توصلا إلى الحصول على (0,1) جرام من ملح كلوريد الراديوم استخرجاه من طن من المواد المشعّة، وقد أثبتا أن مادة الراديوم تملك نشاطاً إشعاعياً أقوى من نشاط اليورانيوم بملايين المرات[7]. وقد استخدمت ماري كوري (Marie Curie) وزوجها بيير كوري (Pierre Curie) مصطلح الفاعلية الإشعاعية لأول مرة في تاريخ العلم.

وكانت أول حادثة معروفة عن تأثير الإشعاع على جسم الإنسان قد حدثت لأحد العلماء الباحثين في هذا الميدان وهو الفيزيائي الفرنسي هنري بكريل فقد حمل في جيبه أنبوبة صغيرة من أملاح الراديوم وبعد بضعة ساعات ظهر حرق شديد على جلد جسمه الذي يقع تحت الجيب مباشرة. ولم يلتئم هذا الجرح إلّا بعد شهور عديدة.

---

(6) ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، د. هشام غصيب، ص 15، دار الفرقان ـ عمان، مؤسسة الرسالة بيروت، 1983.

(7) الطاقة والذرّة، معهد الإنماء العربي، إعداد فريق العلوم المتكاملة ـ بيروت، 1978، ص 51.

3 ـ النشاط الإشعاعي (Radio Activity):

يطلق النشاط الإشعاعي على ظاهرة تحلّل نويات الذرّات التي ينبعث منها إشعاعات على فترات زمنية مختلفة. ففي عام 1899 أظهر بيكريل (Becquerel) أنه إذا أحيط الإشعاع الصادر من الراديوم بمجال كهربائي أحد أقطابه موجب والآخر سالب، فإن هذا يؤدي إلى تحلّل الإشعاع إلى ثلاثة أجزاء، ينحرف أولها إلى جهة الجانب السالب وينحرف الثاني اتجاه الجانب الموجب، ويمضي الثالث في سبيله بدون أي انحراف، ولما لم تكن طبيعة هذه الأجزاء واضحة في بادىء الأمر، فقد أطلق عليها أسماء ألفا؛ بيتا؛ جاما؛ وتبيَّن فيما بعد أن أشعة ألفا وبيتا ليست أشعة بالمعنى العادي بل أن كل منهما عبارة عن جسيمات مادية صغيرة.

(أ) **جسيمات ألفا** (α): وهذه الجسيمات عبارة عن ذرّات الهيليوم ويحدث انبعاث هذه الجسيمات من الذرّات ذات العدد الذرّي العالي (High atomic number)[8] مثل اليورانيوم والبلوتونيوم والراديوم.

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{90}Th^{234}$$

$$_{94}Pu^{239} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{92}U^{235}$$

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{86}Rn^{222}$$[9]

وتتكون ذرّات الهيليوم من بروتونين (عدد اثنين) ونيوترونين. هذا يعني أن انبعاث جسيمات ألفا تنقص من الوزن الذرّي للعنصر بمقدار أربع وحدات (4.a.m.u.) «والوحدة هنا مأخوذة من نظام الجماعة العلمية التي

---

(8) Nuclear Power Engineering D.K. Singhai.

(9) الموسوعة الكيميائية الروسية، موسكو، 1965، الجزء الرابع، ص 458.

تبنّت نظام (الكربون ـ 12) أساساً لتعريف وحدات قياس الكتل الأنوية وتعرف على أنها مقدار كتلة جزء من إثني عشر جزءاً (1/12) من نواة ذرّة (الكربون ـ 12)، أي أن كتلة نواة ذرّة (الكربون ـ 12) تساوي إثنى عشر من هذه الوحدات. وقد أطلق اسم وحدة الكتلة الموحدة على هذه الوحدة».

تسير جسيمات ألفا بسرعة تقدّر بحوالي ثلاثمائة ألف كيلومتر في الثانية، وليس لجزئيات ألفا قوة اختراق (Penetration) إنما يجب اعتبار خطرها الشديد فقط إذا ما تمكنت من دخول جسم الإنسان من خلال الطعام والشراب والهواء[10].

(ب) **جسيمات بيتا (β)**: هي عبارة عن جسيمات تحمل شحنة سالبة وتصدر عن النيوترونات والبروتونات، فعندما يبثّ النيوترون جسيمات بيتا التي هي عبارة عن إلكترونات فإن النيوترون يتحول بذلك إلى بروتون ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية[11]:

$$_{15}P^{32} \longrightarrow {}_{16}S^{32} + \beta^{-}$$

وهكذا يمكن ملاحظة العدد الذرّي للذرّة الناتجة وهي الكبريت تزيد بوحدة عن الذرّة الأصل وهي الفوسفور. ويظهر جسيم بيتا عادة في النظائر التي فيها زيادة بالنيوترونات. وقد يحدث العكس عندما يكون عدد النيوترونات أقل من عدد البروتونات، وعند ذلك ينبعث جسيم بيتا موجب (β^{+}) بيتا ويسمى في هذه الحالة بوزيترون (Positron) مثل:

$$_{7}N^{13} \longrightarrow {}_{6}C^{13} + \beta^{+}$$

---

(10) الإشعاع النووي، سعود رعد (أستاذ معهد الدفاع الذرّي الأمريكي)، جروس برس، 1986، ص 29.

(11) تكنولوجيا الطاقة النووية، د. محمود عبد المنعم، مركز الكتب الثقافية بيروت، 1986، ص 16.

هذا وتسير جسيمات بيتا بسرعة تصل إلى 250 ألف كلم في الثانية أي حوالي 0,8 من سرعة الضوء وجسيمات بيتا شبيهة بجسيمات ألفا، حيث ليس لها قوة اختراق، وخطرها يأتي إلى الإنسان من خلال الطعام والشراب والهواء.

والبوزيترون هو إلكترون ذي شحنة موجبة اكتشفه اندرسون سنة 1932 في الأشعة الكونية. وله كتلة هي نفس كتلة الإلكترون وهو يعيش عمراً طويلاً. وعندما يتقابل البوزيترون والإلكترون فإنهما يفنيان ويتحولان إلى فوتونين (أحياناً إلى ثلاثة فوتونات)[12].

(ج) موجات جاما (ϑ): هي ليست جسيمات وبالتالي فهي ليست مكهربة وإنما هي أشعة بالمعنى العادي وتشبه الأشعة السينية (X-Ray) إلى حد كبير، ويمكن القول إن أشعة جاما عبارة عن ذبذبات كهرومغناطيسية ذات تردد عالٍ وتنتشر في الفراغ بسرعة الضوء. وتملك أشعة جاما قدرة على النفاذ في الأجسام وهي أقوى من أشعة بيتا بعشرين ضعف[13] وانبعاث أشعة جاما لا يؤدي إلى تغيير محتويات النواة لكنها تؤدي إلى تغيير مستوى الطاقة في النواة إلى مستوى آخر[14].

4 ـ أنواع النشاط الإشعاعي:

يوجد نوعين من النشاط الإشعاعي وهما:

1 ـ نشاط إشعاعي طبيعي (natural radioactivity)، وهو نشاط إشعاعي

---

(12) عالم الجسيمات الدقيقة، دار مير للطباعة والنشر ـ موسكو، ك. شولكين ـ مترجم، ص 52.
K.U. Wenkuve - Qu3uka MukpoMupa PtoMuzgat Mockba.

(13) الليزر وتطبيقاته، د. فالح حسن الأحمدي، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، 1985، ص 30.

(14) الموسوعة الكيميائية الروسية، ص 462، الجزء الرابع، مرجع سابق.

يعود عادة لعناصر تشعّ ذاتياً في الطبيعة كما هو الحال بالنسبة لليورانيوم.

2 ـ نشاط إشعاعي صادر عن مواد مشعّة مصنّعة: وهي مواد يحصل عليها في حالة نشطة بعد أن تم تحويلها من حالة الثبات، ويمكن الحصول عليها بالطرق التالية:

1 ـ إطلاق نيوترونات على العنصر من خلال مصدر يطلق نيوترونات.

2 ـ إطلاق جسيمات أو أيونات مشحونة وذات سرعات عالية (معجلة) على العناصر.

3 ـ فصل المواد المنشطرة الناتجة عن الوقود النووي في المفاعل.

وبعد اكتشاف ظاهرية الفاعلية الإشعاعية الاصطناعية عام 1934 تم الحصول على عدد كبير جداً من النظائر الجديدة، والتي أثبت أنها عبارة عن نظائر مشعّة. (والنظائر «Isotopes» اسم يطلق على الذرّات التي تتمتع بشحنة متساوية في النواة ولكنها تختلف بالكتلة. ويكون بناء الطبقة الإلكترونية الرئيسية في هذه الذرّات واحداً وهي ـ أي هذه الذرّات تخص عنصراً كيميائياً واحداً[15].

5 ـ مدخل إلى القوة النووية:

نستطيع أن نتصور المادة على شكل مجموعة مترابطة أو غير مترابطة من لبنات مجهرية أساسية تعرف بالذرّات. وتتكون الذرّة كما سبق الحديث من نواة موجبة الشحنة تشغل حيزاً يكاد لا يذكر. وإلكترونات تتحرك حول النواة ضمن مستويات معينة للطاقة ولا يجوز لها أن تكتسب أي مقدار من الطاقة. بل أنه يوجد مقادير معينة للطاقة تحدد حركتها.

(15) مرجع سابق ـ كيرييف ـ ص 48.

ولكن ما هي القوة التي تربط النيوترونات بالبروتونات داخل النواة؟

يمكننا معرفة هذه القوة المسؤولة عن ترابط النيوترونات بالبروتونات في النواة عن طريق قياس ما يسمى بطاقة الربط (Binding Energy) في النواة، وهي مقدار الطاقة اللازمة لفسخ النيوكليونات عن بعضها ويتم قياسها في العادة بإحدى الطريقتين:

1 ـ قياس الطاقة التي تبثّها أو تمتصها النواة في التفاعلات والعمليات النووية المختلفة.

2 ـ استخدام معادلة أينشتاين.

والجدير بالذكر أن النيوكليونات الحرة تخسر جزءاً من طاقتها (كتلتها) حين تتفاعل وتلتحم معاً، لأنها تهبط في هذه الحال إلى مستوى متدن للطاقة[16]، وهذا يعني أن النيوكليونات تحول جزءاً من كتلتها إلى طاقة حين تتحد لتكون النواة وهذا ما أثبته أينشتاين من خلال نظريته التي سنظهر أهميتها من خلال العلاقة بين الكتلة والطاقة.

6 ـ الكتلة والطاقة:

في عام 1900 بدأ يترسخ عند العلماء اعتقاد بوجود مخزن هائل للطاقة ضمن الذرّة. وفي عام 1905 قدم العالم الألماني ـ السويسري ألبرت أينشتاين (A. Einstein) نظريته النسبية التي ربطت الطاقة بالكتلة من خلال معادلة فيزيائية تعد أشهر معادلة في التاريخ وذلك لبساطتها وارتباطها الجذري بالقنبلة النووية وتوليد الطاقة النووية وهي:

$$E = mC^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

(16) ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، هشام غصيب، دار الفرقان ـ عمان 1983، ص 18.

حيث أن: E ـ الطاقة مقاسة (بالارج)
M ـ الكتلة مقدّرة (بالجرام)
C ـ سرعة الضوء في الفراغ
مقاسة بـ (سم/ثانية)

ظهرت هذه المعادلة في مجلة «حوليات الفيزياء الألمانية» بعنوان «هل يعتمد قصور الجسم على كمية الطاقة فيه»[17].

وتفترض هذه النظرية أن قوانين الطبيعة الدينامية والكهرومغناطيسية لا تتغير بتغير مراجع الإسناد القصوري (Inertial frame of Reference) التي يتم منها قياس الكميات الطبيعية. فلو افترضنا أن كتلة الجسم المعني دراسته هي (M_0) في حال السكون؛ و(m) كتلة الجسم في حال الحركة بالسرعة المنتظمة، و (V) سرعة الجسم بالنسبة إلى المختبر، و (C) سرعة الضوء في الفراغ فإن:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وهذا يعني أن الكتلة تتزايد بتزايد السرعة إلى أن تصل اللانهاية عند سرعة الضوء. وهكذا تحسب مقدار الطاقة للجسم المتحرك في غياب القوى المؤثرة عليه وفق الطرق المألوفة في الفيزياء (الطاقة تساوي القوى القصورية مضروبة بالمسافة المقطوعة).

وهكذا نجد أن الطاقة تساوي:

$$E = mC^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

---

(17) الطاقة النووية وحادثة تشرنوبل، د. إبراهيم بدران، الدكتور هاني عبيد، الجمعية العلمية الملكية ـ عمان 1988، ص 24.

نستطيع أن نعوض مكان قيمة (m) في المعادلة رقم (2) فنحصل على الآتي:

$$E = \frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

فلو تم الافتراض أن الجسم في حالة سكون فهذا يعني أن سرعة الجسم تساوي صفراً (V=0) وهكذا تصبح المعادلة:

$$E = m_0 C^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

أي أن الجسم يملك طاقة حتى في حالة السكون وانعدام القوى الخارجية المؤثرة عليه تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء في الفراغ[18].

وهكذا يمكن القول إن أي جسم مادي يشكل مخزناً هائلاً للطاقة، لأن الكتلة هي شكل من أشكال الطاقة. إن عملية تحويل المادة إلى طاقة كفيلة بتوليد كميات خيالية من الطاقة، والعكس صحيح.

لنتخيل أن بروتون حر وإلكترون حر يتحركان ببطء نحو بعضهما. ففي هذه الحالة فإن الكتلتين (البروتون والإلكترون) يتفاعلان معاً كهرومغناطيسياً، ويبثّان موجة كهرومغناطيسية تعرف بالفوتون، ويرتبطان معاً ليشكّلا ذرّة الهيدروجين، ويستقرا في أدنى مستوى للطاقة لهذه الذرّة

(إلكترون + بروتون ← ذرّة هيدروجين + فوتون).

لقد جاءت الطاقة الحرة من كتلتي البروتون الحر والإلكترون الحر. هذا يعني أن التفاعل أدّى إلى تحويل جزء من كتلة الجسمين إلى طاقة حرة.

---

(18) ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، د. هشام غصيب، ص 43.

وهـذا يعني أيضاً أن كتلة الهيـدروجين أقل من مجمـوع كتلتي مكونيهـا (إلكترون + بروتون) ويساوي هذا الفرق طاقة الـربط (Binding Energy) وهي مقدار الطاقة اللازمة لفسـخ النيوكليونات عن بعضهما بين الجسمين في الذرّة المعينة.

فإذا افترضنا أن كتلة الإلكترون الحر (Me) وكتلة البروتون الحر (Mp) وكتلة ذرّة الهيدروجين MH، فإن المعادلة تأخذ الشكل التالي:

$$(M_e + M_p)\, C^2 = M_H C^2 + h\nu$$

وهذا يقودنا إلى النتيجة التالية:

$$(M_e + M_p) - M_H = \frac{h\nu}{C^2}$$

أي إن الفرق بين مكوّنات الهيدروجين وكتلة ذرّة الهيدروجين يساوي طاقة الفوتون الناتجة مقسومة على مربـع سرعة الضوء في الفراغ. فمثلاً نجد أن

كتلة البروتون في حالة السكون = 1.00758 (a.m.u.)
كتلة النيوترون في حالة السكون = 1.00893 (a.m.u.)[19]

فلو طبّقنا هذه الأرقام في حالة الهيدروجين الثقيل (الديوترون) لوجدنا الآتي:

إن مجمـوع كتلتي البـروتـون الحـرّ والنيـوتـرون الحـر المكـوّنين للهيدروجين الثقيل يساوي

(a.m.u.) 2,01651= 1,00893+ 1,00758

(19) D.K. Singhai, p. 17.

أما القياسات الدقيقة دلّت على أن كتلة الهايدروجين الثقيل تساوي 2,014102(a.m.u.) إذن هناك فرق يساوي الآتي:

$$(a.m.u.)\ 0{,}002408 = 2{,}014102 - 2{,}01651$$

أما بالنسبة للهيدروجين المشعّ (التريتيوم) والذي تتضمن نواتة بروتوناً واحداً ونيوترونين، دلت القياسات الدقيقة على أن كتلة نواته تساوي 3,01605 (a.m.u)، إلا أن مجموع محتويات النواة يساوي:

$$3{,}02544\ (a.m.u) = 2.01786 + 1{,}00758$$

والفرق هو

$$0{,}00939\ (a.m.u) = 3{,}01605 - 3{,}02544$$

وجرت العادة أن تسمى الطاقة المكافئة لهذا الفرق بطاقة الربط.

7 ـ القوة النووية:

طوّر العالمين البريطانيين، فارادي (Faraday) وماكسويل (Maxweel) مفهوم المجال الكهرومغناطيسي في منتصف القرن التاسع عشر لتفسير الظواهر الكهربائية والمغناطيسية المختلفة.

منطلقين من مفهوم أن القوة الكهرومغناطيسية تنتقل من الأجسام المشحونة والممغنطة المؤثرة على بعضها في المكان والزمان عبر مجالات متصلة تملأ الفضاء المحيط بها. وقد نصّت النظرية المعروفة بالكهروديناميكية الكمية (Quantum Electrodynamics) على أن الخلخلات أو الموجات الكهرومغناطيسية (الضوء، الأشعة السينية، أشعة جاما) ليست في الواقع سوى خضم من الذقائق الكمية (الحزم الطاقية الغير متصلة) المعروفة بالفوتونات (Photons) فهذا يعني أن تبادل الفوتونات بين الشحنات الكهربائية هو المسؤول عن تفاعلها مع بعضها. وهذا يعني أن الشحنات

الكهربائية تبث وتمتص فوتونات باستمرار أثناء تفاعلهما مع بعضهما. إن الفوتونات هي التي تنقل الطاقة والزخم والقوة من شحنة إلى أخرى[20]. إذن فإن المجال الكهرومغناطيسي هو عبارة عن حزمه من الفوتونات المتحركة بسرعة الضوء.

وانطلاقاً من هذه العلاقة تم استيعاب القوة النووية وفهمها. ففي عام 1935 اقترح الفيزيائي الياباني هاديكي يوكاوا (H. Yukawa) أنه يوجد دقيقة كمية مجهولة مسؤولة عن القوة النووية وانتقالها من نيوكلون إلى آخر وقد أطلق على هذه الدقيقة الجديدة اسم ميزون (Meson)[21] وبناء على ذلك فإن المجال النووي ليس سوى حزمة من الميزونات. فكما أن خلخلة مصدر المجال الكهرومغناطيسي تؤدي إلى بث الموجات الكهرومغناطيسية التي هي ليست سوى تيار من الفوتونات. وهكذا يمكننا الاستنتاج من نفس هذه الظاهرة أن خلخلة النواة تؤدي إلى بث الموجات النووية التي هي ليست سوى تيار من الميزونات. وكتلة الميزون تساوي حوالي 300 مرة قدر كتلة الإلكترون.

وفي عام 1938، تم اكتشاف جسيم أولي جديد أثناء تحليل الأشعة الكونية القادمة من الفضاء الخارجي، وقد سمّي هذا الجسيم (الميوميزون M–meson) أو الميون.

وفي عام 1947 تمكنت مجموعة من العلماء من اكتشاف جسيم آخر كتلته (276) مرة قدر كتلة الإلكترون ويتفاعل نووياً مع النيوكليونات وأطلق عليه اسم باي ميزون (π—meson) أو البيون وهو مطابق لميزون يوكاوا.

وبعد بناء المسارعات النووية (سايكلوترونات) (Cyclotrons) الضخمة

(20) ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، د. هشام غصيب، ص 26.

(21) الموسوعة الكيميائية الروسية، ص 107، الجزء الثالث.

واستعمالها، فقد أصبح بمقدور العلماء إنتاج الجسيمات الكمية الأولية، بما في ذلك الميزونات بأنواعها المختلفة، وبكميات وافرة. هذا وقد دلّت نتائج المحاولات التجريبية، إن القوة النووية لا يقتصر فعلها على التفاعل بين النيوكليونات وغيرها، بل إنها أيضاً القوى المسؤولة عن ترابط المكوّنات الداخلية للنيوكليون. وتسمّى الجسيمات الكمية التي تحمل القوة النووية في داخل النيوكليون بين مكوناته «الصمغيات» أو (Gluons) وهي جسيمات عديمة الكتلة شأنها في ذلك شأن الفوتونات.

8 ــ المدفعية الذرّية:

بدأ العلماء منذ الثلاثينات في تصميم آلة مخصصة لقصف نواة الذرّة بالأشعة، وقد سميت هذه الآلة (معجل الجسيم).

إن التحولات الأساسية في النواة تحدث باشتراك الجسيمات الثقيلة، ولذلك تم تصميم تصميمات متعددة لجسيمات ألفا والبروتونات وغيرها. ويتم تعجيل هذه الجسيمات المشحونة بواسطة المجال الكهربائي، أما تغيير الاتجاه فيتم باستخدام المجال المغناطيسي أو المجال الكهربائي أو المجالين معاً[22].

إن أكثر المعجّلات انتشاراً هو السيكلوترون. ويعتبر السيكلوترون من أنجح الوسائل في تعجيل البروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا وتكمن مزاياه في قدرته على جعل الجسيم يتعرض لفرق جهد صغير عدة مرات، مجمّعاً أثناء ذلك، طاقة تكافىء فرق جهد كبير[23].

---

(22) الطاقة والذرّة، ص 60.

(23) المبادىء الأساسية للفيزياء النووية / مترجم / ريتشارد ف. همغريز، روبرت برنجر، دار المعارض ــ مصر (مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر) 1962، ص 499.

ويوجد معجّل أقل استعمالاً هو المعجّل الخطي. ويتألف من أنبوبة مستقيمة يقارب طولها المائة متر، فارغة تماماً من الهواء. حيث يتم وضع داخل هذه الأنبوبة أنابيب قصيرة من النحاس مختلفة الأطوال. وتعطى عند مدخل المعجّل طاقة تبلغ (200) ألف إلكترون ڤولت. ويجري تغيير الجهد الكهربائي بانتظام عند أطراف الأنابيب، فيصبح الجهد موجباً ثم سالباً ثم موجباً. وهذا ما يؤدي إلى تزايد سرعة الجسيم المشحون بين قطب وآخر[24]. وبهذه الطريقة، توصل مصمموا المعجّل إلى إكساب الجسيم المشحون بشحنة موجبة طاقة تصل إلى عشرات الملايين من الإلكترون ڤولت.

9 ــ الانشطار النووي: (Nuclear Fission):

في عام 1934 بدأ انريكو فيرمي (E. Fermi) تجاربه الأولى في قصف اليورانيوم بالنيوترونات، وقد قدّر لهذه التجارب النجاح حيث أظهرت هذه التجارب أن نوى الذرّات تبتلع النيوترونات البطيئة بسهولة أكبر من النيوترونات السريعة وأسهل بكثير من الجسيمات المشحونة.

والذي كان يحدث في غالبية الأحيان هو أن النوى كانت تبتلع النيوترونات ببساطة، وحيث أن رقم الكتلة للنيوترون هو واحد وعدده الذرّي هو صفر (لأنه غير مشحون كهربائياً) لذا تبقى النواة التي تبتلع نيوتروناً نظيراً لنفس العنصر ولكن يزداد رقم كتلته.

ينفذ النيوترون عبر الغلاف الإلكتروني للذرّة بسهولة لأنه لا يتأثر إطلاقاً بالإلكترونات. وعندما يقترب النيوترون من النواة يدخل في مجال تأثير قوى تسمّى القوى الداخلية للنواة، وهي القوى التي تربط البروتونات

(24) Nuclear Radiation Physics, Ralph E. Lapp Howard, L. Andrews — Prentice-Hall Inc, Englewood -Chiffs, New Jersey 1972, p. 311.

وتحفظ للنواة شكلها المتماسك. وينجذب النيوترون إلى داخل النواة بفضل هذه القوى. ويؤدي هذا الدخول إلى اختلال التوازن داخل النواة، وإلى حالة هياج ترتفع أثناءها درجة الحرارة مليار درجة مئوية[25] مما يؤدي إلى انسلاخ بعض الجسيمات عن النواة ويؤدي إلى انفجارها. هذا الانفجار ينتج عنه انطلاق أنوية واحدة أو أكثر لذرّات أبسط وأخف، ونيوترونات وظهور مقدار هائل من الطاقة ويمكن أن تمتص النواة النيوترون متحولاً إلى بروتون فيزداد العدد الذرّي بمقدار واحد وباثاً إلكتروناً على شكل أشعة بيتا. وفي سنة 1939 اقترح عالم الإحياء الأمريكي ويليام أرنولد (W. Arnold) تسمية انقسام نوى الذرّات بالانشطار (Fission) وهو نفس التعبير المستخدم لوصف انقسام الخلية إلى جزئين.

يتحكم بالانشطار النووي عاملين هامين هما:

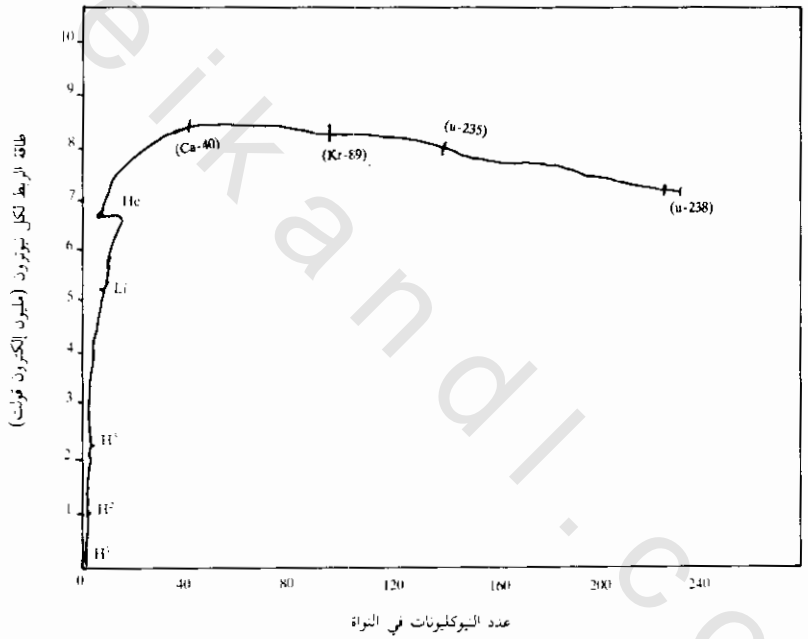
أولاً: أن تكون طاقة الربط للمواد الناتجة عن الانشطار النووي أكبر من طاقة الربط للمواد الابتدائية ومن ثم تكون كتلة المواد الناتجة أقل من كتلة المواد الابتدائية.

ثانياً: ضمان فعالية واستمرارية عاليتين للتفاعل النووي المولّد للطاقة بحيث يشتمل عدداً كبيراً من الأنوية ويستمر لفترة طويلة بالنسبة إلى فترات التفاعل النووية.

وكما سبق ووضحنا أن الفرق بين مستوى طاقة البروتونات والنيوترونات الحرة وبين مستوى طاقة النواة المكوّنة منها يبرز على شكل فرق في الكتلة بين النظامين وقد جرت العادة أن تسمّى الطاقة المكافئة لهذا

(25) الطاقة والذرّة، فريق العلوم المتكاملة، معهد الإنماء العربي، 1978.

الفرق بطاقة الربط. ولبيان الكيفية التي تتغير بها طاقة الربط من نواة إلى أخرى فقد جرت العادة أن تحسب طاقة الربط لكل جسيم من مكوّنات النواة، وهذا يقودنا إلى رسم المنحنى الذي يربط طاقة الربط لكل نيوكليون بالعدد الكلي للنيوكليونات في النواة[26].



شكل رقم (1)

فلو حاولنا دراسة هذا المنحنى فإننا نجد الآتي:

(26) Introduction to Atomic Physics Enge. Wehr. Richards. Addison-Wesley Publishing Company 1974, p. 403.

1 ــ أن طاقة الربط تصل إلى حدها الأعلى في الأنوية المتوسطة، كما أنها لا تتغير بشكل ملحوظ إلا عند الأنوية الخفيفة جداً والأنوية الثقيلة جداً. وهذا يعني أن دمج الأنوية المتوسطة لتكوين الأنوية الثقيلة أو تفتيتها لتكوين الأنوية الخفيفة لا يعجز عن توليد الطاقة فحسب، بل إن تحقيق ذلك يحتاج إلى بذل طاقة هائلة.

2 ــ إن دمج نواتين خفيفتين لتكوين نواة متوسطة أو شطر نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتين يمكن بالفعل أن يؤدي إلى توليد الطاقة الحرة. لأن طاقة الربط تزداد إثر التفاعل في كلتا الحالتين. وهذا يعني أننا نستطيع الحصول على الطاقة النووية عن طريق الانشطار أو الالتحام[27].

فمثلاً لو تم انشطار نواة (اليورانيوم ــ 235) إلى نواة (الكريبتون ــ 89) ونواة (الباريوم ــ 144) وثلاث نيوترونات، فنجد أن طاقة الربط للنواتج والمستقاة من هذا المنحنى تفوق طاقة الربط لنواة اليورانيوم والمستقاة من نفس المنحنى، أما الفرق بينهما فيتولّد على شكل طاقة حرة تعرف بالطاقة النووية.

10 ــ عملية الانشطار النووي:

يوجد مواد قابلة للانشطار مباشرة مثل (البلوتونيوم ــ 239) و (اليورانيوم ــ 235) وتعرف هذه المواد بالمواد الانشطارية (Fissile material) كما أن هناك مواد غير انشطارية ولكنها تصبح قابلة للانشطار بعد تفاعلات خاصة، وتعرف بالمواد المخصبة (Fertile Material) مثل

(27) D.K. Singhai ص 28.

(اليورانيوم ـ 238) و (الثوريوم ـ 232) ويمكن التعبير عن الانشطار النووي بالتفاعل التالي :

$$\text{Fissile material} + {}_0n^1 \longrightarrow F_1 + F_2 + \gamma\ {}_0n^1 + E$$

حيث ان F_1 وF_{29} عنصران كيميائيان بعدد ذرّي أصغر من المادة المنشطرة.

α ـ عدد النيترونات المتولّدة.

E ـ الطاقة الحرة وتقاس بالمليون إلكترون قولت (Mev).

ففي حالة (اليورانيوم ـ 235) يجري التفاعل كالآتي[28]:

$${}_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{36}Kr^{89} + {}_{56}Ba^{144} + 3n + 203\ \text{Mev}$$

إن الطاقة الصادرة هنا والتي تساوي 203 مليون إلكترون فولت تمثل الطاقة المصاحبة لأشعة بيتا وأشعة جاما ويمكن توزيع الطاقة الناتجة عن تفاعل الانشطار النووي (لليورانيوم ـ 235) كالآتي :

1 ـ طاقة حركية للمواد المنشطرة (Kinetic energy of fission fragments) ـ 167 =Mev

2 ـ طاقة حركية للنيوترونات من خلال الانشطار (Kinetic energy of fission neutrons) ـ 5 =Mev

3 ـ أشعة جاما من المواد المشعّة (Promp gamma energy) ـ 7 =Mev

4 ـ أشعة بيتا من المواد المشعّة (Beta decay energy) ـ 5 =Mev

5 ـ أشعة جاما من المواد المشعّة (Gamma decay energy) ـ 5 =Mev

6 ـ طاقة تؤخذ مع النيوترونات (Energy taken away by neutrons) ـ

---

(28) Modern Physics — S.S. Bhatti, p. 233, Kalayani Publishers — New Delhi, 1980. p. 233.

14 =Mev

المجموع الكلي للطاقة 203.Mev

(والإلكترون ڤولت (1.e.v.) يعرف بأنه كمية الطاقة التي ينبغي صرفها كي ينتقل الجسيم ذو الشحنة المساوية لشحنة الإلكترون من وضع إلى آخر في المجال الكهربائي بحيث يكون فرق الجهد في الموضعين مساوياً ڤلتاً واحداً)[29]

إن ما ينطبق على انشطار (اليورانيوم ــ 235) ينطبق على انشطار المواد القابلة للانشطار الأخرى، فلو تمّت مقارنة انشطار (اليورانيوم ــ 238) و (اليورانيوم ــ 235) فإننا نجد.

إن هذين النظيرين (تطلق تسمية النظائر «Isotopes» على الذرّات التي تتمتع بشحنة متساوية في النواة، ولكنها تختلف بالكتلة، ويكون بناء الطبقة الإلكترونية الرئيسية في هذه الذرّات واحداً، وهذه الذرّات تخص عنصراً كيميائياً واحداً) قابلين للانشطار انشطاراً تلقائياً وعدد الانشطارات التلقائية في (اليورانيوم ــ 238) يقارب 25 انشطاراً في الساعة لكل واحد غرام. وإن عدد الأنوية في غرام (اليورانيوم ــ 238) يقارب $2,5 \times 10^{21}$. هذا يبيّن ضعف احتمال وقوع الانشطار التلقائي في هذه المادة. وهذا يعني أننا لا نستطيع أن نعتمد على الانشطار التلقائي في (اليورانيوم ــ 238) لتوليد طاقة نووية بكميات كافية.

إن الطريقة الوحيدة لتحقيق انشطار نووي هي بقذف نواة اليورانيوم بجسيمات مجهرية مثل النيوترونات التي لا تتأثر بالمجالات الكهربائية الموجودة في الذرّة، والتي أيضاً تؤدي إلى توليد نيوترونات أخرى ناتجة عن عملية الانشطار النووي، وهذا ما يجعل استمرارية عملية الانشطار ممكنة

---

(29) D.K. Singhai، ص 61.

الكيمياء الفيزيائية، ف. كيرييف، ص 30.

(كان العالمان الألمانيان ستراسمان (F. Strasseman) و هان (D. Hahn) أول من اكتشف عملية انشطار اليورانيوم بالنيوترونات).

إن هناك عدة احتمالات ممكن أن تحدث من جراء اصطدام النيوترون بنواة (اليورانيوم ــ 238).

1 ــ من المحتمل أن يفقد النيوترون جزءاً من طاقته الحركية فينعكس عن النواة.

2 ــ من المحتمل أن يتفاعل النيوترون تفاعلاً نووياً مع النواة، فتمتصه النواة وفي هذه الحالة فإن النيوترون يهبط من مستوى طاقته الابتدائية إلى مستوى طاقة النواة المتدني. أما الفرق بين المستويين، فينتقل إلى النواة ويظهر فيها على شكل طاقة استثارة. وهنا يمكن حدوث الاحتمالات التالية:

أولاً: انشطار نووي حيث نحصل على عنصران كيميائيان بعدد ذرّي أصغر وعلى عدد من النيوترونات.

ثانياً: بث فوتون من أشعة جاما وتحول النظير المقذوف إلى نظير آخر

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{239} + \gamma$$

ثالثاً: انعكاس النيوترون عن النواة المقذوفة[30].

وهنا يجب العلم أن نسب هذه الاحتمالات الثلاثة تتغير بتغير طاقة النيوترونات المؤثرة. إن الطاقة التي ينقلها النيوترون إلى النواة حيث تمتصه تسمى طاقة الاستثارة (Excitation Energy) ويُسمّى الفرق في النواة بين نقطة الانفصال ونقطة الاستقرار بطاقة التنشيط (Activation Energy) إن

(30) Burcham، ص 6260.

الشرط الأساسي لحدوث الانشطار في النواة المقذوفة هو أن تكون طاقة الاستثارة مساوية لطاقة التنشيط أو أكبر منها.

فكيف تتأثر نواتي (اليورانيوم ـ 235) و (اليورانيوم ـ 238) بالنيوترونات الحرارية (Thermal Neutrons) وهي (نيوترونات بطيئة حيث تبلغ طاقتها الحركية بضعة أجزاء من الإلكترون ڤولت)

إن كتلة (اليورانيوم ـ 235) = 235,04391 a.m.u.

و كتلة النيوترون = 1,00893 a.m.u.

المجموع M_1 = 236,05284 a.m.u.

وكتلة (اليورانيوم ـ 236) = M_2 =236,04563 a.m.u.

وهكذا نحصل على طاقة استثارة تساوي $(M_1 - M_2)$

$$236,05284 - 236,04563 = 0,00721$$

والمعلوم أن:

$$1 \text{ a.m.u.} = 931,478 \text{ M.e.v.}$$

إذن طاقة الاستثارة تساوي

$$931,478 \times 0,00721 = 6,759 \text{ M.e.v.}$$

أما طاقة التنشيط فهي (5,3) مليون إلكترون ڤولت إذن فإن طاقة الاستثارة أكبر من طاقة التنشيط وهذا يعني أن النيوترونات الحرورية قادرة على إحداث انشطار نووي في (اليورانيوم ـ 235).

أما بالنسبة (لليورانيوم ـ 238) فإن إجراء حسابات بنفس الطريقة نحصل على أن طاقة الاستثارة تساوي (4,9) مليون إلكترون ڤولت أما طاقة التنشيط فهي (5,5) مليون إلكترون ڤولت أي إن طاقة التنشيط أكبر من طاقة الاستثارة وهذا يعني أن النيوترونات الحرورية ليست قادرة على إحداث

انشطار في (اليورانيوم ـ 238) وهذا يعني أن هذا النظير بحاجة إلى نيوترونات سريعة جداً لكي ينشطر[31].

النواة المقذوفة	النواة الناتجة بعد امتصاص النيوترون	طاقة الاستثارة مليون إلكترون قولت (Mev)	طاقة التنشيط مليون إلكترون قولت (Mev)
u^{233}	u^{234}	6.599	4.599
u^{235}	u^{236}	6.759	5.3
u^{238}	u^{239}	4.901	5.5
Th^{232}	Th^{233}	5.101	6.499
Pa^{231}	Pa^{232}	5.04	5.0
Np^{237}	Np^{238}	5.0	4.2
Pu^{239}	Pu^{240}	6.4	4.001

قائمة بطاقة التنشيط وطاقة الاستثارة لعدد من الأنوية الثقيلة[32]

جدول رقم (1)

11 ـ التفاعل المتسلسل (Chain Reaction):

هو عملية تهيىء الظروف أمام النيوترونات المنبعثة من الانشطار لإحداث المزيد من الانشطارات، بحيث تؤدي هذه إلى إعطاء المزيد من النيوترونات، فيتم شطر المزيد من الأنوية.

إن الشرط الأساسي لحدوث التفاعل المتسلسل هو أن يكون عدد النيوترونات المنبعثة مساوياً (على الأقل) لعدد النيوترونات الممتصة.

(31) Nuclear Physics II-edition Irving Kaplan, Addison-Wesly Publishing Company, p. 630.

(32) مرجع سابق؛ Singhai، ص 55.

فلو تم أخذ قطعة من (اليورانيوم ــ 238) تملك من الكتلة والحجم ما يمنعها من فقدان النيوترونات بشكل ملموس. بمعنى أن احتمال أن يصطدم النيوترون المنبعث مع أنوية (يورانيوم ــ 238)، أو أن يتفاعل معها أكبر بكثير من احتمال أن يخرج من القطعة دون أن يحدث أي أثر يذكر.

فلذلك سيحدث عدد من الانشطارات التلقائية في لحظة ما، حيث سيتم تحرير مجموعة من النيوترونات السريعة. وهناك أربعة احتمالات من التفاعلات ممكن أن تُحْدِثُها هذه النيوترونات مع الأنوية وهي:

1 ــ 7 % من النيوترونات المنبعثة تدخل في التفاعل فيكون الانشطار بنسبة 7 %.

2 ــ أن تمتص نواة (اليورانيوم ــ 238) ما قيمته 0,7 % فتتحول إلى (يورانيوم ــ 239).

3 ــ انعكاس النيوترونات المنبعثة عن الأنوية بنسبة 63 ٪.

4 ــ انعكاس النيوترونات المنبعثة عن الأنوية بنسبة 29,3 % مع فقدان كبير للطاقة.

فلو أضفنا النسبة في الاحتمال الثاني إلى الاحتمال الرابع فإننا نستنتج أن 30 ٪ من النيوترونات المنبعثة تضيع من حيث قدرتها على إحداث المزيد من الانشطارات يبقى لدينا نسبة 63 % من النيوترونات قادرة على إتمام عملية الانشطار، ونستطيع تطبيق الاحتمالات الأربعة المذكورة على النسبة الجديدة ألا وهي نسبة 63 % من النيوترونات وهكذا فإن نسبة الانشطار تبقى في تناقص مستمر. وأثبتت التجارب أن النسبة الكلية التي تحدث انشطارات لا تتعدى 15 % من العدد الأصلي للنيوترونات المنبعثة وهذا يعني أن التفاعل المستمر لا يمكن أن يحدث في (اليورانيوم ــ 238).

أما بالنسبة (لليورانيوم ــ 235): فأكدت التجارب أن النسبة العظمى

من النيوترونات المنعكسة تؤدي إلى المزيد من الانشطارات وفي النتيجة نجد أن عدد النيوترونات دائماً في تزايد هذا ما يساعد على الاستمرار في التفاعل في (اليورانيوم ـ 235). وهذا مرجعه يعود إلى أن طاقة الاستثارة التي سبق الحديث عنها والتي تفوق طاقة التنشيط في (اليورانيوم ـ 235).

ولكي يتسنّى للنيوترونات الدخول في اصطدامات وتفاعلات جديدة مع أنويات جديدة من اليورانيوم لإحداث انشطارات جديدة وتحرير المزيد من النيوترونات، يتعيّن أن تجد في طريقها المزيد من الأنوية وفي جميع الاتجاهات وهذا يعني أن لا يقل عدد الأنوية (اليورانيوم ـ 235) في الكتلة المعنية عن عدد أدنى معين. وألّا يقل حجم الكتلة عن حد أدنى معين وأن تكون مساحة سطح الكتلة أصغر مساحة ممكنة لهذه الكتلة وذاك الحجم.

12 ـ الكتلة الحرجة:

إن أقل كمية من المادة القابلة للانشطار والتي تكون كافية للحصول على سلسلة ردود فعل انشطارية تدعى الكتلة الحرجة[33].

هذا يعني أن ثمة حجماً حرجاً (Critical Volume) وكتلة حرجة (Critical Mass) يشكلان حدين لا يمكن حدوث التفاعل المتسلسل إلا عند مقادير معينة، هذا ويمكن تخفيض هذه الكتل الحرجة إذا تحكمنا بنسب زائدة من النقاوة.

فمثلاً يعتبر نقاء اليورانيوم أو البلوتونيوم شرطاً أساسياً لتحديد كمية الكتلة الحرجة في تصميم القنابل النووية[34].

---

(33) حقائق عن الحرب النووية ـ بيتر كودوين ـ مترجم ـ وزارة الثقافة والإعلام ـ دار القادسية ـ بغداد 1985 ـ ص 210.

(34) Taylor, Theodore B. «Commercial Nuclear Technology and Nuclear Weapon Proliferation — Edited by Onkar Marwah and Ann Schulz. Cambridge M.A. Ballinger Publishing Company — 1975 — p. 116.

ويؤكد ذلك (الجدول رقم 2).

المادة	درجة النقاء	الكتلة الحرجة / كلغ /
يورانيوم ـ 233	% 100	6
يورانيوم ـ 235	% 100	17
يورانيوم ـ 235	% 60	50
يورانيوم ـ 235	% 20	850
بلوتونيوم ـ 239	% 100	8 — 5
بلوتونيوم ـ 239	% 12	850
بلوتونيوم ـ 240	% 100	10 — 5

قائمة بطاقة التنشيط وطاقة الاستثارة لعدد من الأنوية الثقيلة[2]

جدول رقم (2)

ويمكن كذلك تخفيض الكتل الحرجة إذا استخدمت المادة المنشطرة داخل وعاء مغلق وعاكس جيداً للنيوترونات.

وهكذا نستطيع القول أنه كلما كبرت كمية اليورانيوم التي يحرض فيها التفاعل المتسلسل كلما ازدادت إمكانية الاستفادة من النيوترونات في الانشطار وبذلك يموت التفاعل ببطء أكبر. وبالتالي إذا ساوى الحجم قيمة معينة (الحجم الحرج) فإن التفاعل المتسلسل لا يخمد إطلاقاً وإنما يحافظ على نفسه بواسطة النيوترونات التي تقوم بانشطارات أخرى مما يجعل التفاعل يجري بسرعة ثابتة. أما إذا تجاوزنا الحجم الحرج عندها يتسارع التفاعل النووي وتنفجر الكتلة. وليس من الضروري قصف اليورانيوم بالنيوترونات لبدء العملية فقد اكتشف الفيزيائي الروسي جيورجي فيليروف (G. NV. Flerov) أن بعض نوى اليورانيوم تنشطر أحياناً دون أن تقدم لها النيوترونات ويحدث أحياناً أن النواة المرتجة تأخذ شكلاً لا تتمكن معه قوى النواة من إعادتها إلى شكلها الأصلي وعندها تتحطم النواة إلى قسمين، ففي

واحد غرام من اليورانيوم تتعرض إحدى النوى لانشطار تلقائي (Spontaneous Fission) كل دقيقتين بشكل وسطي لذلك إذا جمعنا كمية من اليورانيوم تزيد عن الحجم الحرج عندها ستنفجر خلال ثوان. ويبدأ التفاعل المتسلسل بواسطة النواة الأولى التي تنشطر تلقائياً[35].

(35) قصة الطاقة النووية، إيساك أزيموف، ص 128.

obeikandl.com