الباب السابع

تركيب النواة

لمعرفة تكوين نواة الذرة أطلق العلماء مقادير وافرة من الاشعاعات الصادرة من المواد المشعة على ذرات العناصر. وبدراسة نتائج هذه التفاعلات وجد أنه يمكن تجزئة نواة الذرة إلى جسيمات مختلفة ، بعضها ثابت يستطيع البقاء على حالة انفراد خارج النواة والبعض الآخر غير ثابت نسبيا ولا يستطيع البقاء خارج النواة إلا لفترة وجيزة جـــدا . ومعظم هذه الجسيمات يتميز بتركيب بسيط ، أما الباقى فيختص بتكوين معقد نسبيا . ولكن لا يوجد أى دليل على أن هذه الجسيمات المعقدة تلعب دورا هاما فى نواة الذرة .

١ – الجسيمات الثابتة بالنواة :

١ – البروتون : The Proton

$$\left({}^{1}_{1}H^{+} \text{ ، } {}^{1}_{1}H - \text{يد}^{+} \text{ ، يد} \right)$$

لقد وجد أن أخف الايونات الموجبة التى أمكن اكتشافها فى أنابيب التفريغ ذو كتلة تقارب كثيرا كتلة ذرة الايدروجين وحوالى ١٨٣٧ مرة قـدر كتلة الإليكترون . وبذلك يكون هـــذا الجسيم عباره عن ذرة أيدروجين فقدت اليكترونها الوحيد ولقد أطلق رذرفورد اسم البروتون على الايون الموجب لذرة الأيدروجين .

وفى عام ١٩٣٢ قام رذرفورد Rutherford بقذف ملايين من جسيمات الفا على ذرات النيتروجين (أما على حالته العنصرية كغاز أو متحدا فى بعض المركبات الصلبة كنيتريد الصوديوم أو البور) فاصطدمت نسبة ضئيلة من جسيمات الفا نويات ذرات النيتروجين، وشوهد انطلاق دقائق ذات طاقة

أعلى من طاقة قذائف جسيمات الفا كما تحول النيتروجين إلى أحد نظائر الاكسيجين $^{17}_{8}O$

وبقياس مقدار انحراف الجسيمات النفاذة باستخدام مجال مغناطيسى أمكن تقدير كتلتها وشحنتها ولقد وجد أن هذه الجسيمات عبارة عن نواة ذرة الهيدروجين أى البروتون .

وفى عام ١٩٢٥ أثبت تشادويك Chadwick أن نواة ذرة النيتروجين قد أسرت جسيم الفا ، فتكونت ذرة مركبة غير ثابتة انطلق منها البروتون .

ويمكن تمثيل هذا التفاعل النووى بالمعادلة الآتية :

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow ({}^{18}_{9}F) \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{17}_{8}O$$

ولقد أمكن الحصول على البروتونات بقذف كثير من نويات العناصر بجسيمات الفا ، ويتضح ذلك من الأمثلة التالية :

$$^{10}_{5}B + {}^{4}_{2}He \rightarrow ({}^{14}_{7}N) \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{13}_{6}C$$

$$^{23}_{11}Na + {}^{4}_{2}He \rightarrow ({}^{27}_{13}Al) \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{26}_{12}Mg$$

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \rightarrow ({}^{31}_{15}P) \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{30}_{14}Si$$

وفى كل حالة تزداد شحنة النواه الناتجة بوحدة واحدة وتزداد كتلتها بثلاث وحدات .

وحيث أننا نحصل على البروتون أثناء التفريغ الكهربى خلال غاز الهيدروجين عند ضغط منخفض فى أنابيب كروكس، كما أنه يمكن الحصول على البروتون فى كثير من التفاعلات النووية ، فانه يعتبر أحد مركبات النواة .

٢ ـ النيوترون : ($_{0}^{1}n$ ، $_{0}^{1}\nu$) The Neutron

فى عام ١٩٢٠ اقترح رذرفورد أنه يمكن أن يتفاعل اليكترون وبروتون ويتكون جسيم متعادل أطلق عليه أسم النيوترون وحيث أن هذه الجسيمات لاتحمل شحنة كهربية وأنها لاتتأثر بالمجال المغناطيسى أو الكهربائى لذلك اكتنف اكتشاف هذا الجسيم صعوبات جمة .

وفى عام ١٩٣٩ سلط بوث وبيكر Bothe and Becker جسيمات الفا السريعة على بعض العناصر الخفيفة مثل الليثيوم والبورون والبريليوم ، ولاحظا انبعاث اشعاعات نفاذة قوية : وأعتقدا أن هذه الاشعاعات قد تكون أشعة جاما ورمزا للتفاعل النووى بالمعادلة الآتية :

$$_{٤}^{٩}بى + _{٢}^{٤}هى \rightarrow (\ _{٦}^{١٣}ك\ )^{*} \rightarrow _{٦}^{١٢}ك + _{٠}^{١}ن$$

وفى عام ١٩٣٢ سلط جوليو كورى وزوجته الاشعاعات النفاذة المنبعثة من البريليوم على حاجز رقيق من شمع البرافين فى غرفة التأين وعلى بعض المركبات التى تحتوى على الايدروجين مثل بخار الماء ، والكحول فى غرفة السحاب فلاحظا انطلاق بروتونات ذات طاقة عالية ولقد أمكن الكشف

عن هذه البروتونات بتسجيل مساراتها فى غرفة السحاب وبزيادة تيار التأين فى غرفة التأيين بعد وضع شمع البرافين فى الغرفة .

وحسبت طاقة الاشعاعات النفاذة على أساس أنها عبارة عن أشعة جاما فوجد أنها تحصل على قيم مختلفة .

ا ـ فمن تجارب امتصاص الاشعة النفاذة بالرصاص تبين أن طاقة الاشعة يبلغ ٧ مليون اليكترون فولت .

ب ـ وبحساب طاقة البروتونات المنطلقة عند تسليط الاشعاعات النفاذة على البرافين أو المواد المحتوية على الايدروجين أمكن حساب طاقة الاشعاعات النفاذة ووجد أنها تبلغ ٥٥ مليون اليكترون فولت .

حـ ـ وبحساب طاقة الجسيمات المنطلقة عند تسليط الاشعاعات النفاذة على غاز النيتروجين والارجون أمكن حساب طاقة الاشعاعات النفاذة ووجد أنها تبلغ ٩٠ مليون اليكترون فولت ، ١٥٠ اليكترون فولت على التوالى :

وبذلك تبين أن الاشعاعات النفاذة المنبعثة من عنصر البريليوم لايمكن أن تكون أشعة جاما .

وفى عام ١٩٣٢ تمكن تشادويك Chadwick من اكتشاف حقيقة هذه الاشعاعات الجديدة ، وأثبت أنها ليست أشعة جاما الكهرومغناطيسية ، بل هى جسيمات لاتحمل أى شحنة كهربية ولها كتلة تساوى كتلة البروتون تقريبا وأطلق عليها اسم « النيوترون » .

ويمكن الحصول على النيوترونات بطرق مختلفه أهمها :

١ ـ قذف عناصر البريليوم والليثيوم والنيتروجين والصوديوم والالومنيوم والارجون بجسيمات الفا السريعه المنطلقة من عنصر الراديوم ويرمز لهذه التفاعلات النواوية بالمعادلات الآتية :

$$_{1}^{9}\beta + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{12}[{}_{0}^{13}\text{ك}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{ك} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{4}\beta + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{6}[{}_{0}^{6}\text{ك}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{ك} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{1}^{7}\text{ل} + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{10}[{}_{0}^{11}\text{ب}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{ب} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{3}\text{ل} + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{5}[{}_{0}^{5}\text{ب}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{0}\text{ب} + {}_{0}^{0}\nu$$

$$_{1}^{14}\text{ن} + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{17}[{}_{0}^{18}\text{فل}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{فل} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{7}\text{ن} + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{9}[{}_{0}^{9}\text{فل}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{0}\text{فل} + {}_{0}^{0}\nu$$

$$_{1}^{23}\text{ص} + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{26}[{}_{0}^{27}\text{لو}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{لو} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{11}\text{ص} + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{13}[{}_{0}^{13}\text{لو}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{0}\text{لو} + {}_{0}^{0}\nu$$

$$_{1}^{27}\text{لو} + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{30}[{}_{0}^{31}\text{فو}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{فو} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{13}\text{لو} + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{15}[{}_{0}^{15}\text{فو}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{0}\text{فو} + {}_{0}^{0}\nu$$

$$_{1}^{40}\text{ار} + {}_{0}^{4}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{43}[{}_{0}^{44}\text{كا}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1}\text{كا} + {}_{0}^{1}\nu$$

$$_{0}^{18}\text{ار} + {}_{0}^{2}\text{هـ} \rightarrow {}_{0}^{20}[{}_{0}^{20}\text{كا}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{0}\text{كا} + {}_{0}^{0}\nu$$

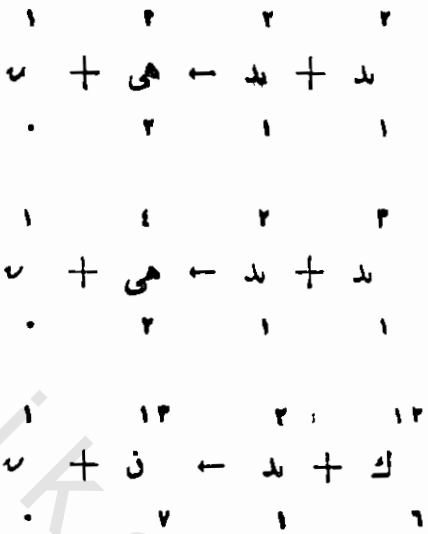
ويمكن التعبير عن التفاعلات النواوية السابقة بمعادلة العامة :

$$_{1}^{4}\text{ى} + {}_{0}^{1}\text{س} \rightarrow [{}_{0}^{1+4}\text{س}_{1}]^{1} \rightarrow {}_{0}^{1+2}\text{ص} + {}_{0}^{1}\nu$$

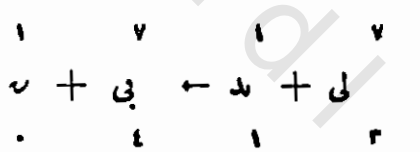
$$_{0}^{2}\text{ى} + {}_{0}^{1}\text{ز} \rightarrow [{}_{0}^{2+1}\text{ز}]^{0} \rightarrow {}_{0}^{2+1}\text{ز} + {}_{0}^{0}\nu$$

ويخلط ١ جم من الراديوم (١ كيورى) بعدة جرامات من مسحوق البريليوم ينبعث 10^{7} نيوترون سريع فى كل ثانية :

١ ـ بقذف الثلج الثقيل (D_2O) أو الكربون أو التريتيوم $_{1}^{3}T$ بالديوترونات للعجلة فى مولد فان دى جراف :

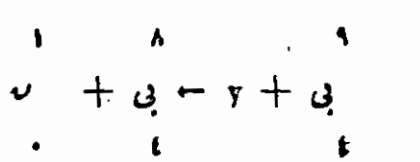


٢ ـ الاستخدام البروتونات المعجلة كقذائف



وتعتبر التفاعلات السابقة من أهم مصادر النيوترونات المتماثلة الطاقة ، وتتراوح طاقة النيوترونات الناتجة بين ٥ كيلو اليكترون فولت ، ٢٠ مليون اليكترون فولت .

٣ ـ بتعرض البريليوم أو الديوتيريوم إلى فوتونات جاما وتعرف هذه بالتفاعلات الفوتو ـ نووية .



obeikandi.com

$$_{0}^{1}\nu + {}_{1}^{1}\text{يد} \leftarrow {}_{1}^{2}\text{يد} + 2$$

وتحمل النيوترونات الناتجة من الطرق السابقة طاقة عالية أو متوسطة . ويمكن الحصول على نيوترونات ذات طاقة منخفضة (تتراوح بين ١ر٠ – عدد بسيط من الاليكترون فولت) باستخدام ستارة من المواد المعدلة عندئذ تفقد النيوترونات ذات الطاقة المتوسطة أو العالية جزءا من طاقتها اثر الاصطدام المرن بالنويات الخفيفة أو الاصطدام الغير مرن بالنويات الثقيلة. وأهم المواد المعدلة التى تستخدم فى ابطاء أو تعديل سرعة النيوترونات هى: الماء العادى ، الماء الثقيل ، الجرافيت شمع البرافين ، والبريليوم ويعتبر الماء الثقيل والبريليوم من المعدلات الباهظة التكاليف .

الكشف عن النيوترون :

وحيث أن النيوترونات عديمة الشحنة فأنها تحدث بمرورها فى غرفة التأين أو فى عداد جيجر تأينا ضعيفا جدا . وعليه فانه لايمكن الكشف عن النيوترون باستخدام هذه الأجهزة بطريقة مباشرة . غير أنه يمكن الكشف عن النيوترون بطرق غير مباشرة تعتمد على تفاعل النيوترون ببعض الأنوية ومن أمثلة هذه التفاعلات :

١ ـ تفاعلات تنتج عند امتصاص النيوترون بنواة العنصر انبعاث جسيمات مشحونة سريعة يمكن الكشف عنها فى غرفة التأيين ، ومن أهم هذه التفاعلات تفاعل النيوترون والبورون الذى ينتج جسيمات الفا

$$_{0}^{1}\nu + {}_{5}^{10}\text{ب} \leftarrow {}_{2}^{4}\text{هى} + {}_{3}^{7}\text{ل}$$

٢ ـ أن يكون امتصاص النيوترون بالنواة مصحوبا بانفلاق النواة المركبة

الناتجة ومن أمثلة هذه التفاعلات انفلاق نواة اليورانيوم ^{238} يو ، ^{235} يو عند قذفها بالنيوترونات وينتج من الانفلاق جسيمات مشحونة ذات طاقة عالية وهذه قدرة على تأيين الغازات بغرف التأيين . ويستخدم البلوتونيوم ^{239}Pu ونظيرى اليورانيوم ^{233} يو ، ^{235} يو للكشف عن النيوترونات البطيئة بينما يستعمل الثوريوم ، البروتوأكتنيوم ، والنبتونيوم للكشف عن النيوترونات السريعة .

٣ ـ أن ينجم عن التفاعل بين النيوترون والنواة نواه جديدة مشعة ، يمكن قياس نشاطها الاشعاعى . فعند تعريض صفائح رقيقة من الذهب ، المنجنيز ، الانديوم ، والديزبروزيوم إلى مصدر النيوترون لمده معينة تنتج عناصر ذات نشاط اشعاعى صناعى ويمكن قياس نشاطها الناتج باستخدام عداد جيجر أو غرفة التأيين أو عداد الوميض .

٤ ـ تشتيت النيوترون بنواة خفيفة مثل البروتون ، وينتج عن اصطدامها المرن انطلاق البروتون بطاقة كافية تسمح له بأحداث تأيين محسوس . ويستعمل لذلك شمع البرافين أو الابخرة التى تحتوى على الايدروجين مثل الماء والكحول .

الجسيمات غير الثابته Unstable Particles

١ ـ البوزيترون أو الاليكترون الموجب :

0 ·

e ، د

+1 1+

وفى عام ١٩٣٣ قام اندرسون بدراسة نتائج تصادم الأشعة الكونية مع المادة واستخدم اندرسون غرفة سحاب رأسية موضوعة بين قطبى مغناطيس ينتج مجالا مغناطيسيا قويا قدره ٢٠,٠٠٠ ـ ٢٥,٠٠٠ أورستد وأخذت

صور سريعة لمسارات الجسيمات الناتجة من الأشعة الكونية ولوحظ أن بعض الجسيمات ينحرف فى اتجاه يدل على أنها عبارة عن اليكترونات بينما ينحرف البعض الآخر فى الاتجاه المضاد بما يدل على أنها تحمل شحنة موجبة . ولمعرفة طبيعة الجسيمات الموجبة وضع اندرسون لوحا من الرصاص سمكه (٥ مم) لامتصاص جزء كبير من طاقة الجسيمات ثم أخذت صور سريعة ولاحظ اندرسون وجود مسارين على اللوحة الفوتوغرافية أحدهما فوق لوح الرصاص والآخر أسفله وكان انحناء المسار العلوى أقل من انحناء المسار السفلى فاستنتج اندرسون أن الجسيم يتجه من أعلى إلى أسفل . وبمعرفة اتجاه خطوط المجال المغناطيسى ومسار الجسيم أمكن معرفة اتجاه انحرافه ونوع الشحنة التى يحملها، ولقد وجد أن هذا الجسيم يحمل شحنة موجبة واعتقد اندرسون فى بادىء الأمر أن هذا الجسيم عبارة عن بروتون . وبقياس نصف قطر المسار المنحنى ومعرفة شدة المجال المغناطيسى ، قدرت طاقة الجسيم الموجب بعد اختراقه لوح الرصاص (على أساس أنه بروتون) بما يقرب من ٣٠٠,٠٠٠ اليكترون فولت . واسترعى انتباه اندرسون حقيقتان هامتان .

أولا : يجب ألا يتعدى مدى البروتونات التى تحمل هذه الطاقة ٥مم بينما يزيد طول مسار الجسيمات الموجبة المسجل على اللوح الفوتوغرافى على ٥٠ مم

ثانيا : للبروتونات التى تحمل هذه الطاقة قدرة هائلة على تأيين الغازات ولها مسار سميك ، بينما لوحظ أن مسار الجسيمات رفيع ولا يختلف عن مسار الاليكترون مما يدل على أن قدرة هذا الجسيم الموجب على تأيين الغازات تماثل قدرة الاليكترون وبذلك توصل أندرسون إلى النتيجة القاطعة بأن هذا الجسيم الموجب ليس بروتونا على الاطلاق .

ثم قام اندرسون بتعيين كتلة الجسيم الموجب باستخدام المعلومات الخاصة بانحناء مساره فى المجال المغناطيسى ، وقدرته على التأيين فوجد أن كتلة هذا

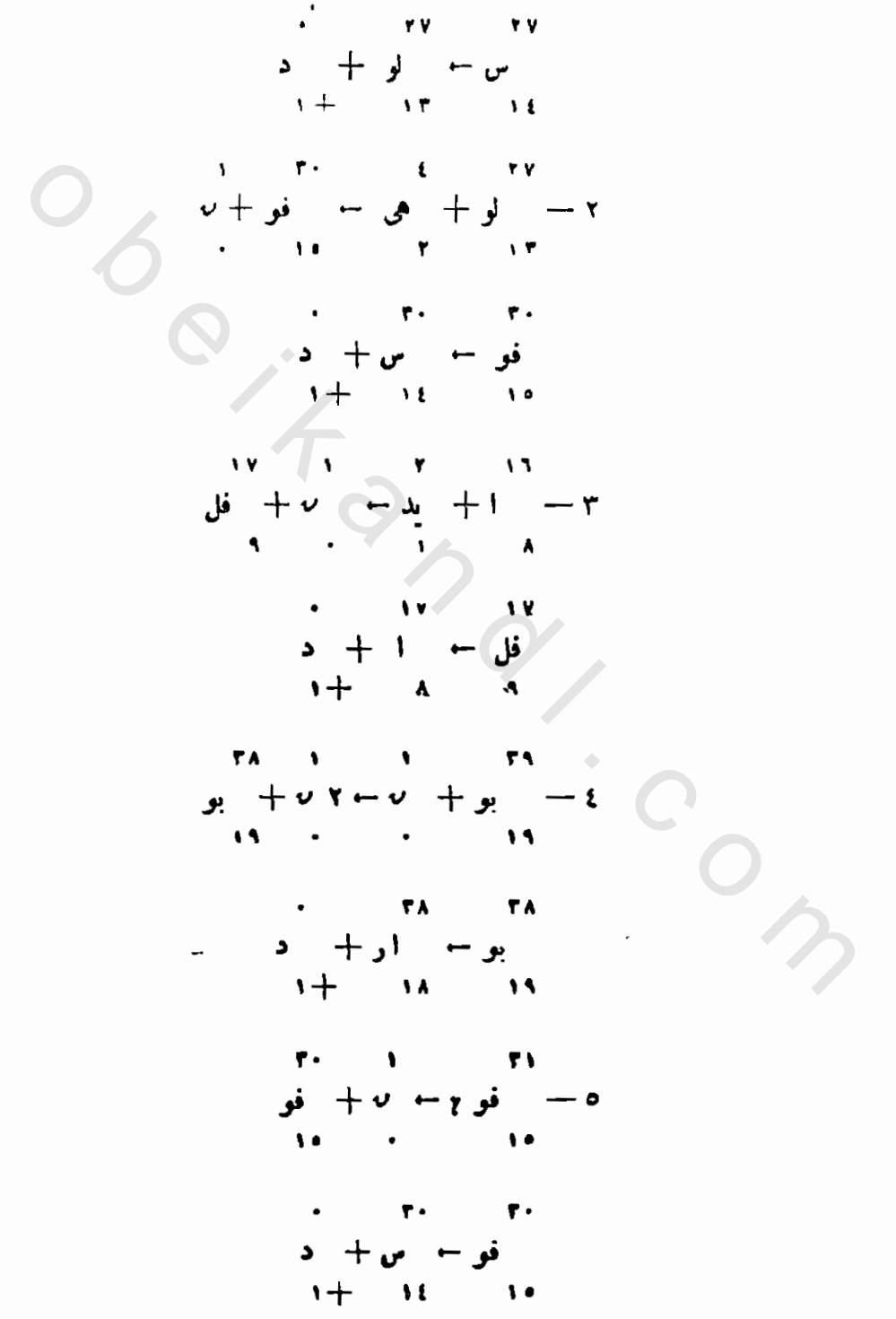
(شكل ٤١)

الجسيم للوجب يساوى كتلة الاليكترون وأطلق عليه اسم البوزيترون :

وفى عام ١٩٣٣ تمكن بلاكت واشياليني من الحصول على البوزيترون بتفاعل أشعة جاما القاسية مع بعض العناصر مثل الرصاص ، والالومنيوم ولاحظا أن فوتون جاما المنطلق بطاقة قدرها ٢و٦ مليون اليكترون فولت ينتج عند امتصاصه زوجا من «البوزيترون ـ اليكترون» وينبعث الجسيمان من الرصاص فى اتجاهين متضادين . وكل بوزيترون ينتج عند تصادم الأشعة الكونية أو أشعة جاما بالمادة يكون دائما مصحوبا بالاليكترون. ولقد وجد أن عدد الاليكترونات الناتجة يزيد عن البوزيترونات ، وذلك لسهولة إزاحه الاليكترونات للوجودة بوفرة فى ذرات جميع العناصر .

وفى عام ١٩٣٣ لاحظ جوليو وكيورى أن ½ العناصر التى تشع صناعيا تطلق جسيم البوزيترون كما لاحظا أن بعض العناصر التى تشع تلقائيا تشع البوزيترون كنتيجة جو لتفاعلات نووية جانبية .

$$\begin{matrix} 1 & & 27 & & 4 & & 24 \\ ١ & + & مغ & + & هى & \leftarrow & س & + & ٠ن \\ 0 & & 14 & & 2 & & 12 \end{matrix}$$


٢٧ ٢٧ ٠
س ← لو + د
١٤ ١٣ + ١
١ ٣٠ ٤ ٢٧
٢ — لو + هى ← فو + ب
٠ ١٥ ٢ ١٣
٣٠ ٠ ٣٠
فو ← س + د
١٥ ١٤ + ١
١٧ ١ ٢ ١٦
٣ — ا + يد ← ب + فل
٩ ٠ ١ ٨
١٧ ٠
فل ← ا + د
٩ ٨ + ١
٣٨ ١ ١ ٣٩
٤ — بو + ب ← ٢ ب + بو
١٩ ٠ ٠ ١٩
٣٨ ٠
بو ← ار + د
١٩ ١٨ + ١
٣٠ ١ ٣١
٥ — فو ← ب + فو
١٥ ٠ ١٥
٣٠ ٠
فو ← س + د
١٥ ١٤ + ١

كتلة وشحنة البوزيترون :

تحمل أشعة جامـــا المنبعثة من ثوريوم حـ (Th C) طاقة قدرهـــا ٢٫٦ × ١٠^٦ اليكترون فولت وتنتج إثر اصطدامها بالرصاص أو الالومنيوم زوج « الاليكترون ـ البوزيترون » بطاقة يبلغ متوسطها ١٫٦ × ١٠^٦ اليكترون فولت . وبتطبيق معادلة أينشتين نجد أن

$$٢٫٦ \times ١٠^{٦} = (ك_{+} + ك_{-}) س^{٢} + ١٫٦ \times ١٠^{٦}$$

حيث $ك_{+}$ = كتلة البوزيترون

$ك_{-}$ = كتلة الاليكترون = ٩×١٠^{-٢٨} حم

س = سرعة الضوء = ٣×١٠^{١٠} سم / ثانية

لكن $ث_{-} س^{٢} = ٨٫١ \times ١٠^{-٧}$ ارج = $٠٫٥ \times ١٠^{٦}$ اليكترون فولت

∴ $ك_{+} س^{٢}$ = $٠٫٥ \times ١٠^{٦}$ اليكترون فولت

وبذلك يتضح أن كتلة البوزيترون = كتلة الاليكترون

وحيث أن الشحنة النوعية $\frac{ش}{ك}$ لكل من البوزيترون والاليكترون المنبعثين من عنصر النحاس الذى يشع صناعيا متساويتان يتضح كذلك أن شحنة الاليكترون = شحنة البوزيترون .

فناء البوزيترون :

للبوزيترون عمر قصير جدا يبلغ ٥×١٠^{-٨} ثانية . وفى فترة قـــدرها ٥×١٠^{-١٠} ثانية يفقد البوزيترون جزءا كبيرا من طاقة حركته ثم يتفاعل باليكترون فينتج عن ذلك فوتونان يبلغ متوسط طاقة كل منهما ٠٫٥ × ١٠^٦ اليكترون فولت ، ولكل منهما موجة طولها ($٢٫٥ \times ١٠^{-١٠}$ سم) . ولقد لوحظ أن فناء البوزيترون يكون مصحوبا بانبعاث فوتون جاما طول موجته ($٢٫٥ \times ١٠^{-١٠}$ سم) .

ويمكن إحداث عكس هذا التفاعل فاذا سقطت فوتونات أشعة جاما على ذرات عنصر ، واقترب الفوتون من منطقة مجال نواة الذرة فان الفوتون يتحول إلى الكترون وبوزيترون . ويمكن رؤية ذلك التناج الزوجي بوضوح فى غرفة السحاب . ويرمز لهذا التفاعل العكسى بالمعادلة :

$$\gamma \rightleftarrows e^{0}_{-1} + e^{0}_{+1} \qquad\qquad \gamma \rightleftarrows د^{\cdot}_{-1} + د^{\cdot}_{+1}$$

ويؤكد هذا التفاعل العكسى صحة نظرية أينشتين عن تحول الطاقة إلى مادة وتحول المادة إلى طاقة .

٤ – النيوترينو The Neutrino

لشرح طبيعة القوة بين البروتون والنيوترون داخل النواة افترضت نظرية هيزنبرج وماجورنا Heisenberg and Majorna أن النيوترون يتكون من بروتون واليكترون :

$$د^{\cdot}_{+1} = ن^{\cdot}_{0} + ب^{١}_{-١} \quad \ldots (١)$$

وأن البروتون يتكون من نيوترون و بوزيترون :

$$ن^{\cdot}_{0} = د^{١}_{+١} + ب^{١}_{+١} \quad \ldots (٢)$$

وبانتقال الاليكترونات من النيوترونات إلى البروتونات،والبوزيترونات من البروتونات إلى النيوترونات تتولد قوى تجاذب بين البروتونات والنيوترونات داخل النواة مما يؤدى إلى ثبات النواة .

ولتفسير أشعاع بعض الأنوية لجسيم بيتا (اليكترون أو بوزيترون) افترضت نظرية فرمى Fermi أن انطلاق الاليكترون ويحدث عند تحول أحد النيوترونات بالنواه إلى بروتون :

$$\text{ن} \longrightarrow \text{ب} + \text{د}_{-1} \qquad \ldots(٣)$$

وأن أشعاع البوزيترون يتم عند تحول أحد البزوترونات بالنواه إلى نيوترون :

$$\text{ب} \longrightarrow \text{ن} + \text{د}_{+1} \qquad \ldots(٤)$$

ويحدث انطلاق البوزيترون أو الاليكترون عند تغير الطاقة الكامنة فى النواة . وكما أن طاقة فوتون جاما تنتج زوج الاليكترون والبوزيترون فان تغير الطاقة الكامنة بالنواة أثناء انحلال جسيمات بيتا لابد وأن يؤدى كذلك إلى انتاج زوج من الجسيمات الخفيفة ويمكن التوصل إلى هذه الحقيقة بتطبيق قانون حفظ الكهرباء « the law of conservation of electricity » وقانون حفظ كمية التحرك الزاوى the law of conservation of angular momentum

ويسرى قانون حفظ الكهرباء عند مايولد فوتون جاما زوج الاليكترون والبوزيترون :

$$\text{ف} \longrightarrow \text{د}_{-1} + \text{د}_{+1} \qquad \ldots(٥)$$

لأن شحنة فوتون جاما (صفر) تساوى مجموع شحنتى الالكترون

والبوزيترون (ـ ١+١=صفر) . كما يتحقق قانون حفظ الكهرباء عندما تشع النواه جسيم بيتا ويتضح ذلك من المثالين التاليين :

$$\begin{matrix} ٣٠ & ٣٠ & ٠ \\ \text{فو} & \leftarrow & \text{س} + \text{د} \\ ١٥ & ١٤ & +١ \end{matrix} \qquad (٦)$$

$$\begin{matrix} ٢٣٩ & ٢٣٩ & ٠ \\ \text{فو} & \leftarrow & \text{ب} + \text{د} \\ ٩٢ & ٩٣ & -١ \end{matrix} \qquad (٧)$$

فشحنة نواة الفوسفور (١٥) تساوى مجموع شحنتى السيليكون والبوزيترون (١٤+١=١٥) ،وشحنة نواة اليورانيوم (٩٢) تساوى مجموع شحنتى النبتونيوم والاليكترون (٩٣ـ١=٩٢).

وعند تطبيق قانون حفظ العزم الزاوى على ظاهرة إنبعاث جسيم بيتا ظهرت مشكلة جديدة .فمن المعلوم أن لكل نواة عزم زاوى يساوى $\frac{١}{٢}\left[\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right]$ إذا كان رقم كتلة النواة فرديا أو $\left[\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right]$ أو صفر إذا كان رقم كتلة النواه زوجيا،والجسيم بيتا عزم زاوى قدره $\frac{١}{٢}\left[\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right]$ وعند تطبيق هذه الحقائق للتفاعلين (٦) ،(٧) يتضح أن :

العزم الزاوى للفوسفور $\left[\left(\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right)\right]$ أقل من العزم الزاوى للسيليكون والبوزيترون $\left[\left(\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right)+\frac{١}{٢}\left(\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right)\right]$ ، كما أن العزم الزاوى لنواة اليورانيوم $\left[\frac{١}{٢}\left(\frac{\text{ه}}{٢\text{ط}}\right)\right]$ أقل من العزم الزاوى لنبتونيوم

والاليكترون $\left[\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)\right]$ لتغلب على هذه الصعوبة

افترض باولى أنه يصحب إنبعاث جسيم بيتا إنبعاث جسيم جديد اطلق عليه اسم النيوترينو . والنيوترينو عديم الشحنة والكتلة وله عزم زاوى قدره $\left[\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)\right]$ ولكنه يدورحول نفسه فى اتجاة مضاد لدوران الاليكترون حول نفسه ، وبذلك يمكن كتابة المعادلتين (٦) ، (٧) فى الصورتين الكاملتين :

$$\text{فو}^{٢٠}_{١٩} \rightarrow \text{س}^{٢٠}_{١٤} + \text{د}^{٠}_{١+} + \text{ع}^{٠}_{٠} \qquad (٨)$$

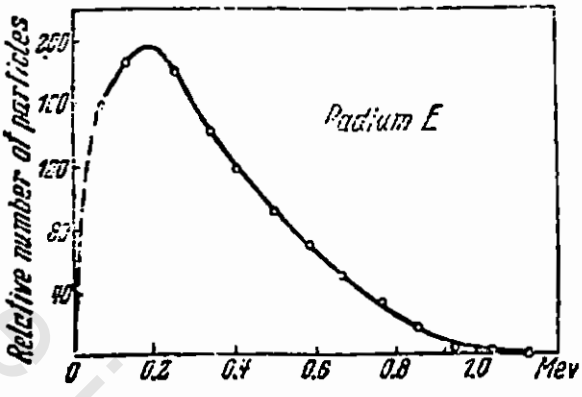
$$\left(\frac{هـ}{2ط}\right)=\left(\frac{هـ}{2ط}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)$$

$$\text{يو}^{٢٣٩}_{٩٢} \rightarrow \text{ب}^{٢٣٩}_{٩٣-} + \text{د}^{٠}_{١-} + \text{ع}^{٠}_{٠} \qquad (٩)$$

$$\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{هـ}{2ط}\right)$$

ولقد فسر النيوترينو مشكلة أخرى لوحظت فى إشعاع طيف بيتا فبينما نجد أن جسيمات الفا المنطلقة من النويات ذات طاقة (وسرعة) محددة تتوقف على النواة المشعة نجد أن سرعة الاليكترونات والبوزيترونات التى تنطلق عند إشعاع جسيم بيتا تتراوح بين صفر ونهاية عظمى تتوقف على النواة .

وحيث أن طاقة النواة المشعة تقل بكمية محددة عند انطلاق جسيمات بيتا ، فانه ينتظر أن يكون لجسيمات بيتا سرعة متماثلة .



شكل ٤٢)

ولقد تمكن باولى من التغلب على هذه العقبة أيضا بافتراض أن الطاقة المنطلقة عند أشعاع جسيمات بيتا توزع بين جسيم بيتا والنيوترينو وعندما تكون طاقة النيوترينو صفرا فان طاقة جسيم بيتا تصل إلى نهايتها العظمى ، وعندما تصل طاقة النيوترينو إلى النهاية العظمى تحصل دقائق بيتا على طاقة تساوى صفرا .

ونظرا لانعدام كتلة وشحنة النيوترينو لم يتمكن العلماء من أكتشافه بطرق عملية مباشرة . رغما عن ذلك تمكن آلن Allen بطريقة غير مباشرة من الحصول على دليل لوجود النيوترينو . ففى عام ١٩٣٥ لاحظ مولر ان كثيرا من العناصر تتحول إلى عناصر أخرى باشعاع البوزيترون أو أسر أحدى اليكترونات غلاف ك ومن بين هذه العناصر الكالسيوم ـ ٤١ ، الكادميوم ـ ٤٦ ، الكروميوم ـ ٥١ ، المنجنيز ٥٢ ، والفناديوم ٤٨ ويرمز لتحول عنصر الفناديوم إلى عنصر التيتانيوم بالمعادلتين الآتيتين :

$$\text{فن}^{٤٨}_{٢٣} \rightarrow \text{تى}^{٤٨}_{٢٢} + \text{د}^{٠}_{+١}$$

$$\begin{matrix} ٤٨ & \cdot & ٤٨ \\ \text{فن} & + \text{د} & \leftarrow \text{تى} \\ ٢٢ & -١ & ٢٣ \end{matrix}$$

ويصحب أسر أحد اليكترونى غلاف ك اشعاع الطيف السينى لذرة التيتان . غير أن ذرة البريليوم ـ ٧ تتحول إلى ذرة الليثيوم ـ ٧ بأسر أحد اليكترونى غلاف ك ودون اشعاع بوزيترون أو أشعة جاما

$$\begin{matrix} ٧ & \cdot & ٧ \\ \text{بى} & + \text{د} & \leftarrow \text{لى} \\ ٤ & -١ & ٣ \end{matrix}$$

وتزيد طاقة نواة البريليوم عن طاقة نواة الليثيوم بمقدار ٠٫٨ مليون اليكترون‌فولت . ونظرا لأن هذا التفاعل غير مصحوب بانطلاق البوزيترونات أو أشعة جاما ، فقد أستنتج آلن أن هذا التفاعل لابد وأن يكون مصحوبا بانطلاق جسيمات النيوترينو المتعادلة الشحنه بطاقة قدرها ٠٫٨ مليون اليكترون‌فولت ، وأن تصادم النيوترينو بذرات البريليوم يؤدى إلى تحويل ذرات البريليوم إلى أيونات موجبة . وقام آلن بأجراء تجارب لأثبات صحة فرضه ، وكان لأكتشاف أيونات البريليوم أثبات قاطع لوجود جسيم النيوترينو .

وبفحص طيف بيتا لذرة التريتون $\text{يد}^{٣}_{١}$ وجد أن كتلة النيوترينو أصغر جدا من كتلة الاليكترون وأنها لاتزيد عن $\frac{\cdot}{١٠٠٠٠}$ من كتلة الاليكترون .

الميزون أو (الاليكترون الثقل) The mesons

لقد وجد أن القوة النـــاجة عن تبادل البوزيترون والاليكترون بين البروتون والنيوترون أقل بكثير من قوة الربط بين البروتونات والنيوترونات بالنواة . للتغلب على هـــذه العقبة افترض يوكاوا Yukawa وجود جسيم

جديد داخل النواة اطلق عليه اسم الميزون (أى الاليكترون الثقيل) له كتلة تتراوح بين كتلة الاليكترون وكتلة البروتون ويحمل شحنة اليكترونيه موجبة أو سالبة .

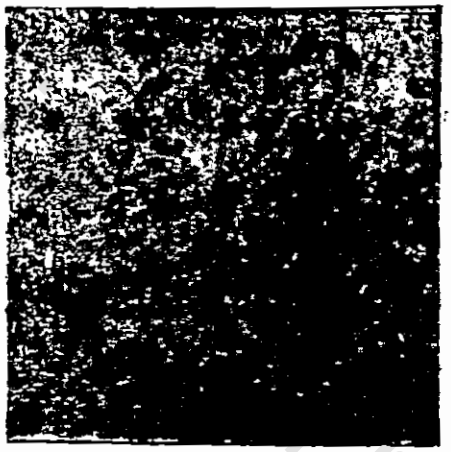
ولاكتشاف هذه الجسيمات استخدم مغناطيس دائم ينتج مجـــالا قويا قدرته ٣٨٤٠ أورستد ، استعملت الواح فوتوغرافية مغطـاه بمستحلب Photographic emulsion لتسجيل مسار الجسيمات ذات الطاقة العالية فى غرفة السحاب ونظرا لأن كثافة الألواح الفوتوغرافية تساوى ٢٠٠٠ مرة قدر كثافة الهواء فان الجسيم الذى يبلغ مساره ٢٠٠ مترا فى غرفه التأيين ، له مسار طوله ١٠ سم فى اللوحة الفوتوغرافية . وباستعمال الألواح الفوتوغرافية أمكن كذلك تحديد اتجاه مسار الجسيم ؛ فالجسيم المتحرك يفقد طاقته وسرعته أثناء تحركه وتزداد قوة تأيين الجسيم كلما تنخفض سرعته ، لذلك يبدأ مسار الجسيم من الموضع الذى تكون فيه كثافة الحبيبات السوداء صغيرة وينتهى عند النقطة التى تكون فيها كثافة الحبيبات السوداء كبيرة . ويمكن تقدير قوة تأيين الجسيم للتحرك وسرعته بحساب عـدد الحبيبات السوداء للوجودة فى السنتيمتر الواحد من مساره ، كما عينت طاقة الجسيم بقياس طول مساره . وبمعرفة سرعة الجسيم وطاقته أمكن حساب كتلته . وبمشاهدة انحراف الجسيم فى المجال المغناطيسى أمكن تحديد شحنته .

وسجلت لوحات باول وأوشيـالينى Powell and Occhialini مسارا لميزون باى (π—meson) له كتلة = ٣٠٠ مرة قدر كتلة الاليكترون، ومسارا لميزون ميو (μ—meson) يبدأ عند نهاية مسار ميزون باى وكتلة ميزون ميو تساوى تقريبا ٢٠٠ مرة قدر كتلة الاليكترون . وفى عام ١٩٤٧ استحدث الميزون بطرق صناعية ، وذلك بقذف عناصر البريليوم ، الكربون ، النحاس اليورانيوم بجسيمات الفا المعجله فى جهاز السينكر وسيكلوترون بطاقة قدرها

٣٠٠ مليون اليكترون فولت نوجد أن عدد جسيمات الميزون تزداد بازدياد طاقة جسيمات الفا .

ويمكن تقسيم الميزونات إلى نوعين رئيسين، ميزونات خفيفة وميزونات ثقيله

١ ـ الميزونات الخفيفة : Light Mesons



انشطار نواة الكربون (a) ونواة الفضة (b) باستخدام ميزون باى . وتبين الصورة أثر ٦ بروتونات فى حالة الكربون وأثر ٤٧ بروتون فى حالة الفضة. (شكل ٤٣)

وتنقسم الميزونات الخفيفة إلى نوعين :

١ ـ ميزون باى pi-Meson (π^0 , π^- , π^+)

ويحمل ميزون باى شحنة اليكترونية موجبة أو سالبة ، كما يوجد ميزون باى المتعادل الشحنة . وكتلة ميزون باى تساوى ٢٨٥ مرة قدر كتلة الاليكترون . ويبلغ متوسط عمر ميزون باى 2×10^{-8} من الثانية .

٢ ـ ميزون ميو Mu-Mesons (μ^+ , μ^-) .

ويحمل ميزون ميو شحنة اليكترونية موجبة أو سالبة وكتلة ميزون ميو تساوى ٢١٦ مرة قدر كتلة الاليكترون .

وتنحل ميزونات باى الموجبة إلى ميزونات ميو الموجبة بعد فترة زمنية ضئيلة قدرها ٢٫٠ × ١٠^-٨ من الثانية وبتطبيق قوانين حفظ الكتلة والطاقة والكهرباء يتضح أن ميزون ميو الناتج يصحبه انطلاق جسيم متعادل الشحنة قد يكون ميزونا متعادل الشحنة له كتلة تساوى ٢٨٥ — ٢١٥ = ٧٠ مرة قدر كتلة الاليكترون ويطلق عليها أسم النيوترويتو Neutretto وقد يكون الجسيم نيوترينا neutrino يحمل كتلة المفقودة فى صورة طاقة .

أما ميزونات باى المتعادلة الشحنة فتتحول إلى فوتونين من فوتونات جاما وتكون هذه الفوتونات رذاذا يتكون من أزواج من البوزيترون والاليكترون .

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu \text{ (نيوترينو)}$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu \text{ (نيوترينو)}$$

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma \text{ (أشعة جاما)}$$

وينحل ميزون ميو الموجب الشحنة إلى بوزيترون وجسيمين من جسيمات النيوترينو أما ميزون ميو السالب الشحنة فينحل إلى الاليكترون وجسيمين من جسيمات النيوترينو . ويمكن تمثيل انحلال ميزونات ميو بالمعادلتين الآتيتين :

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + 2\bar{\nu} \text{ (نيوترينو)}$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + 2\nu \text{ (نيوترينو)}$$

وتحدث ميزونات باى السالبة البطيئة أو السريعة تحولات نووية وذلك لانجذابها إلى النواة الموجبة ، بينما تعانى ميزونات باى الموجبة تنافرا مع النواة ، وتعالل هذه الحقائق التفجير الذى تحدثه ميزونات باى السالبة لنواة العناصر الخفيفة مثل الكربون والنيتروجين والاكسيجين إلى بروتونات ونيوترونات وجسيمات الفا (شكل ٤٣).

أما ميزونات ميو فلا تتفاعل مع نوايا العناصر على الاطلاق . وقد أمكن الحصول على ميزونات باى عند تفجير النوايا بالجسيمات الكونية (Cosmic Particles) التى تتكون من بروتونات أو دقائق الفا ذات طاقة هائلة . وتتكون ميزونات باى على ارتفاعات عالية ، وتنتج عن تحطيم نوايا العناصر بالجسيمات الكونية الاولية . ونظرا لقصر عمرها فانها لاتستطيع الوصول إلى سطح الكرة الأرضية .

ويمكن تمثيل سلسلة التفاعلات التى تحدثها الاشعة البركونية كما يلى :

$$\text{الأشعة الكونية} + \text{النواة} \rightarrow \mu^{\pm} \leftarrow \pi^{\pm} \leftarrow \text{د}^{\pm}$$