من الشكل اعلاه نلاحظ انحلال العناصر(Po^{209}, Pu^{239}, Po^{210} and Am^{241}) تبعث جسيمات الفا, طيف هذا الانحلالات خطوط مميزة ومنفصلة.

من خلال البحوث العملية لوحظ ان معظم جسيمات الفا المنبعثة من نوى نشطة اشعاعيا لها طاقات تتراوح بين (4-10 Mev) وان هناك علاقة مباشرة بين طاقة هذه الجسيمات وعمر النصف للنوة المنحلة, حيث ان النواة التي عمر النصف فيها طويل تبعث جسيمات الفا بطاقة قليلة, اما النواة التي عمر النصف فيها قصير فانها تبعث جسيمات الفا بطاقة كبيرة. اول من اوضح العلاقة بين طاقة جسيمات الفا وعمر النصف للنواة هما العالمان Nuttall and Geiger, حيث تمكنا من ايجاد علاقة خطيا بسيطة تربط بين ثابت الانحلال ومدى جسيمة الفا(R_α) في الهواء والرصاص كما ياتي:

$Log\lambda = a + b + LogR_\alpha$, where (a and b) were constant.

س/ما المقصود بظاهرة النفق(Tunnel Effect)التي من خلالها تتبعث جسيمة الفا من النواة؟

ب- انحلال بيتا(Beta decay): يحدث انحلال بيتا للنواة وذلك ببعث جسيمات بيتا التي تكون شحنتها سالبة(الكترون) وتسمى بيتا السالب(β^-) واما موجبة (بوزترون) وتسمى بيتا موجبة ويرمز لها (β^+). ولتفسير عملية الانحلال ناخذ النوى التالية(${}_7N^{12}, {}_6C^{12}, {}_5B^{12}$) والتي جميهن تحوي على 12 نوية, مختلفين بعدد البروتونات والنيترونات(Z,N), ان نواة الكاربون نواة مستقرة تحوي على 6 بروتونات و6 نيترونات, اما نواة البورون فانها تحوي على نيترونات اكثر وكذلك نواة النيتروجين فانها تحتوي على بروتونات اكثر.

لذا بصورة عامة نواة البورون والنايتروجين غير مستقرة تحاولان الاستقرار وذلك بجعل الطاقة لكل منها مملوءة باعداد متساوية من (Z,N), لو ناخذ نواة ${}_5B^{12}$ فانها تحاول ان تتحلل الى مستوي طاقة اقل بتحويل احد النويان من النيترون الى البروتون. اخر نيترون ينتقل الى مستوى طاقة اقل وهو المستوي الذي فيه عدد البروتونات قليلة, وهذا التحول يعطي نواة الكاربون المستقرة. ولحفظ الشحنة في عملية التحويل هذه يجبب ان تخلق وحدة شحنة سالبة واحده يطلق عليها الالكترون ويرمز لها β^-.

${}_5B^{12} \rightarrow {}_6C^{12} + \beta^-({}_{-1}e^0)$

اما النايتروجين ${}_7N^{12}$ فانها تنحل الى مستوى طاقة اقل بتحويل احد البروتون الى نيترون وهذا التحول يعطي نواة الكاربون المستقرة. ولحقظ الشحنة في عملية التحويل يجب ان تخلق وحدة شحنة سالبة يطلق عليها البوزترون ويرمز لها β^+.

$${}_7N^{12} \rightarrow {}_6C^{12} + \beta^+ ({}_{+1}e^0)$$

في هذا الانحلال سوف نحسب طاقة الانحلال وطيف اشعة بيتا كما ياتي:

1- طاقة الانحلال: ان الطاقة اللازمة للانحلال المصحوب بانبعاث جسيمات بيتا يحصل من الفرق بين كتلة النواة الاصلية ذات العدد الكتلي A والعدد الذري Z ومجموع كتل الذرة النهائية ذات العدد الكتلي A والعدد الذري Z-1 وجسيمة بيتا.

$${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + {}_{-1}e^0 (\beta^-)$$
$${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z-1}Y^A + {}_{+1}e^0 (\beta^+)$$

لحساب طاقة الانحلال لبيتا, لنفرض اولا انحلال جسيم β^- ونعتبر ان m_e, M_d, M_P حيث تمثل كتلة النواة الام والوليدة والاكترون على التوالي, وكذلك قيم $T_d, T_e(\max)$ الطاقة الحركية للنواة الوليدة والطاقة الحركية العظمى للالكترون. باستخدلم مبدا حفظ الطاقة:

$$M_P C^2 = M_d C^2 + T_d + m_e C^2 + T_e(\max) \quad *$$

على اعتبار ان T_p (الطاقة الحركيه للنواة الام) تساوي صفر لان النواة الام سكنة قبل الانحلال. ويمكن التعبير عن طاقة جسيمة بيتا بدلالة طاقة الانحلال Q_β كما ياتي:

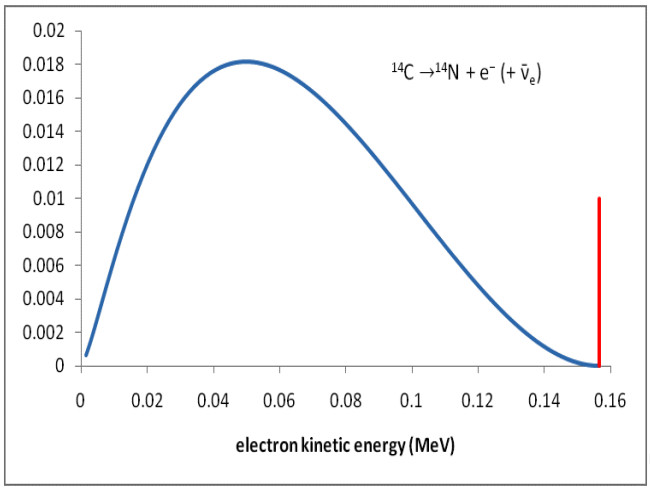
$$T_e(\max) + T_d = Q_\beta = (M_p + M_d + m_e)C^2$$

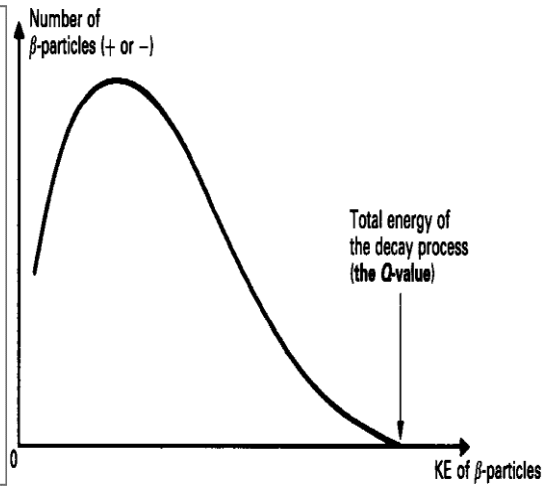
كما ذكرنا سابقا يمكن التعبير عن طاقة الانحلال بدلالة الكتل الذرية بدلا من الكتل النووية. لذا بالامكان اضافة او طرح Zm_e حيث m_e كتلة الالكترون, وبذلك تصبح معادلة الانحلال بالنسبة الى β^-, β^+ كما ياتي:

$$Q_{\beta^-} = [M(Z) - M(Z+1)]C^2$$
$$Q_{\beta^+} = [M(Z) - M(Z+1) - 2m_e]C^2$$

من خلال معادلة(*) طاقة الانحلال تذهب جميعها كطاقة حركية عظمى للالكترون على افتراض ان كتلة النواة الوليدة كبيرة اذا ماقورنت بكتلة الالكترون وبذلك.

2- طيف جسيمات بيتا β: يمتاز طيف الطاقة بالنسبة لجسيمات بيتا بنوعيها السالب والموجب والمنبعثة من نواة ذرة نشطه اشعاعيا بكونه طيفا مستمرا ابتداء من الصفر وانتهاءا بطاقة عظمى(Tmax.) كما مبين بالشكل ادناه. ان اعظم قيمة للطاقة الحركية تختلف من من نواة الى اخرى, ولكن بصورة عامه تكون قيمتها مساوية او مقاربة الى قيمة طاقة الانحلال Q لكل نواة.





لتفسير طيف الطاقة المستمر بالنسبة لجسيمات بيتا وكذلك حفظ الطاقة في عملية الانحلال. فقد اقترح العالم باولي انبعاث جسيمتين من النواة في عمليه انحلال β , وان الطاقة الكلية لهاتين الجسيمتين ثابتة ومساوية الى الطاقة العظمى النهائية في طيف جسيمات بيتا, اي قيمة Q , على اساس ان طاقة النواة المرتدة صغيراة جدا بسبب كتلتها الكبيرة. وان احدى هاتين الجسيمتين هو الالكترون اما الجسيم الاخر فيجب ان يكون متعادل الشحنة وذو كتلة صغيرة جدا او مهملة. لقد اطلق على هذه الجسيمة النيوترينو(Neutrino) ويرمز له ب (ν). وكذلك هناك سبب اخر لفرض تلك الجسيمة في انحلال بيتا هو مبداء حفظ الزخم. ففي انحلال بيتا نجد عدد النويات A . فاذا كان هناك تغير في الزخم الزاوي الكلي فلابد ان يكون عددا صحيحا وليس نصف زائد مضاعف صحيح. فاذا اعتبرنا ان الخم الزاوي لجسيم بيتا $\frac{1}{2}\hbar$ اذن يجب ان تنبعث جسيمة اخرى زخمها الزاوي يساوي $\frac{1}{2}\hbar$ وبنفس وقت انبعاث جسيم بيتا وذلك لحفظ الزخم الكلي للمجموعة.

ان النظرية الحديثة الحالية عززت وجود هذا الجسيم الذي فرضه باولي الا وهو النيوترينو (ν). وهناك نوعين منه النيوترينو وكذلك النيوترينو المضاد (ν^-), حيث يمتلك خواص النيوترينو نفسة. ومن الممكن ان نفرق بينهما من خلال برم كل منهما. فالنيوترينو يدور حول نفسه باتجاه عقرب الساعة, اما النيوترينو المضاد فيدور حول نفسه باتجاه معاكس لعقرب الساعة.

ان النيوترينو والنيوترينو المضاد مثل الالكترون والبوزترون غير موجود داخل النواة وانما يتولدان اثناء الانحلال كماياتي:

$$n \rightarrow p + \beta^- + \nu^-$$
$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$$