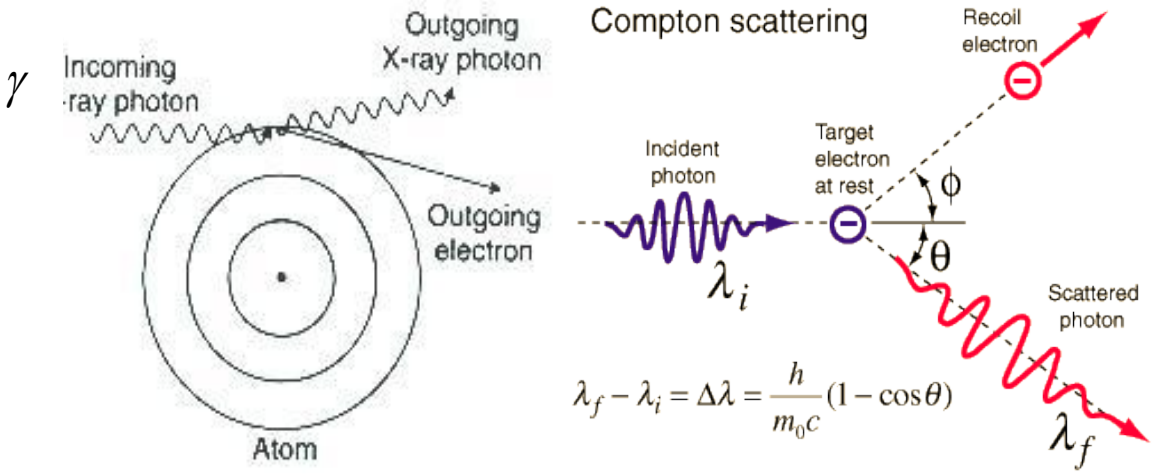
$$T_{\max} = \frac{h\upsilon_0}{1+\frac{m_0c^2}{2h\upsilon_0}}$$

الشكل ادناه يوضح عملية استطارة كومبتن:



أ- انتاج الزوج (Pair Production): في هذا النوع من التفاعل تمتص اشعة كاما من قبل المادة في انتاج زوج من (الكترون- بوزترون). حسب المفهوم الكلاسيكي لا يوجد اي تفسير لهذه التفاعل لكن حسب المفهوم الكمي استطاع العالم ديراك ان يقدم حلا لهذه المساءله حيث فرض وجود وجود الكترون في مستويين للطاقة, المستوي الاول ذو طاقة موجبة والثاني ذو طاقة سالبة. لذلك تحددت قيم قيم طاقة الالكترون الحر, فاما ان تكون اكبر او مساوية الى $E \geq +m_0c^2$ او اصفر او مساوية الى $E \leq -m_0c^2$, ولا توجد اي طاقة للالكترون بين هذين الحدين لذا اطلق على هذه المنطقة بالمجال غير المسموح (Forbidden Region).

في حالة منح اي الكترون موجود في مستويات الطاقة السالبة طاقة مساوية او اكبر من $2m_0c^2$ والتي هي (1.02) مليون الكترون فولت , فان الالكترون سوف يرتفع من مستوي الطاقة السالب الى مستوي الطاقة الموجب. وان انتقال الالكترون من المستوي السالب الى المستوي الموجب يخلف فجوه (Empty Hole). وهذا يمثل البوزترون. اما ظهور الالكترون في مستوي الطاقة الموجب فسيعني ظهور الالكترون الاعتيادي وبذلك يكون زوج من الجسيمات (الكترون – بوزترون). البوزترون جسيم له نفس خواص الالكترون ماعدا شحنته تكون موجبة. ان عمليه انتاج الزوج تحدث عادة في

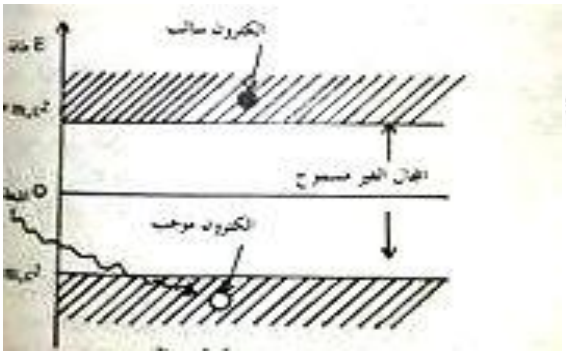
المجال الكهربائي لنواة الذرة, ففي هذا المجال يحدث انتقال الطاقة الى الالكترون والبوزترون وبذلك تحفظ النواة الطاقة كما ياتي:

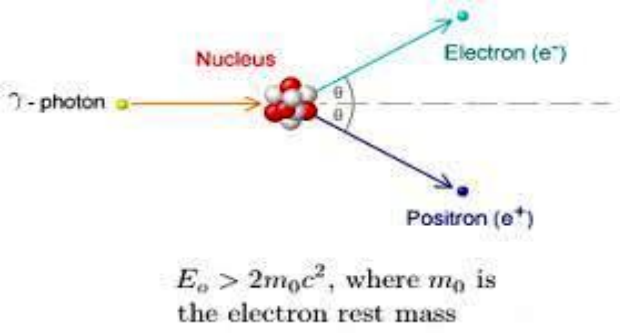
$$h\upsilon = m_{0_{e^-}}c^2 + m_{0_{e^+}}c^2 + K_{e^-} + K_{e^+} + K_n$$

حيث ان $h\upsilon$ طاقة الفوتون الساقط, اما $m_{0_{e^-}}c^2 + m_{0_{e^+}}c^2$ عبارة عن كتل السكون للالكترون والبوزترون على التوالي, وكذلك $K_{e^-} + K_{e^+}$ الطاقة الحركية للالكترون والبوزترون على التوالي اما K_n تمثل الطاقة الحركية للنواة وتكون قيمتها تقريبا مهملة بسبب ان النواق اثقل من الالكترون والبوزترون لذا فان طاقة الفوتون :

$$h\upsilon = 2m_0c^2 + K_{e^-} + K_{e^+}$$

ان قيمه $2m_0c^2$ تساوي (1.02 Mev). نستنتج من اعلاه اذا كانت الطاقة الحركية للالكترون والبوزترون صفر فهذا يعني ان اقل طاقه للفوتون الساقط يجب ان تكون مساويه الى (1.02 Mev). وتسمى هذه بالطاقة الحرجة لانتاج زوج (الكترون– بوزترون). الشكل ادناه يوضح ظاهرة انتاج الزوج:





لعملية انتاج الزوج هناك عملية معاكسة قد تحدث بعد تكوين البوزترون مباشرة في المادة. ويطلق على هذه العملية عملية فناء الالكترون– بوزترون (Electron- Positron Annihilation). حيث ان البوزترون بعد تكوينه تقل سرعته نتيجة تصادمه بالذرات ويزدوج بالالكترون مما يؤدي الى فناء البوزترون مع الالكترون وينتج من هذه العملية انتاج فوتونين بطاقة مقدارها (0.55 Mev) وتسمى هذه الاشعة بالفناء(Annihilation Rays).

1- تفاعلات النيترونات مع الماده (Interaction of Neutron with Matter): ان النيوترونات متعادلة الشحنة فهي لذلك لا تدخل في تفاعل مع الالكترونات المدارية على الاطلاق, وبذلك تصل الى النواة قاطعة الحاجز الكولومي من دون عائق, وتقسم تفاعلات النيترونات الى قسمين:

أ- تفاعلات النيوترونات السريعة (Fast neutron): في هذه التفاعلات تصطدم النيترونات بنوى مادة الهدف مكونة بذلك النواة المركبه والتي تكون في اقصى حالة استثارة. تخلص النواة المركبة من الاستثارة باحد قنوات الانحلال التالية:

1- قناة الاستطارة المرنة: هذه القناة يقصد بها ان النيترون يقذف مرة اخرى من النواة وتعود الى حالتها الطبيعية.
2- قناة الاستطارة الغير مرنة: النيترون يعاد قذفه بطاقة اقل من طاقته الاصلية بعد ان يعطي قسما من طاقته الى نواة الهدف مما يجعلها في حالة استثاره.
3- قناة تفاعل (n,p): في التفاعل يتم امتصاص النيترون من قبل النواة وتقذف بروتون, حيث تبقى النواة غير مستقرة لذا تنحل بعدها بانحلال بيتا(β^-).
4- قناة تفاعل (n,2n): هذا يحدث في حالة طاقة النيترون عالية جدا , فيتم امتصاص النيترون وانبعاث نيوترونين. اما النواة تبقى في حالة اثارة.
5- قناة(n,γ): هذه التفاعل يتم في بعض تفاعلات النيترونات السريعة لم تقذف النواة اي جسيم, لذا تتخلص من الاثارة من خلال بعث اشعة كاما. وهذا النوع هو اقل اهمية في التفاعلات ذات الطاقة العالية.

ان تفاعلات النيترونات السريعة بصورة عامة تعتمد بالدرجة الاساس على على نوع مادة الهدف, ففي النوى الخفيفة(Z) يمكن ان يحدث تفاعل من نوع (n,α) مثال ذلك: $_6C^{12} \rightarrow 3(_2He^4)$.

اما في المواد المتوسطة العدد الذري فيكون التفاعل السائد (n,p) و (n,2n), اما في النوى الثقيلة فالنيترونات السريعة تسبب الانشطار كمل يحدث في عملية الانشطار.

ب- تفاعلات النيترونات البطئية (Slow neutrons): ان هذا النوع من التفاعلات مع الماده تتمثل بامتصاص النيترون من قبل نواة المادة وتكوين النواة المركبة في حالة استثارة. بعد ذلك