# المحاضرة 12/ مادة الفيزياء النووية

# الفصل الخامس/ التفاعلات النووية Nuclear Reactions

## كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم

## قسم الفيزياء / العام الدراسي 2024-2025

## المرحلة الرابعة / شعبة ج صباحي


## أ.م.د. عدي طارق صبحي

# مساحة مقطع التفاعل ( Reaction cross section) :-

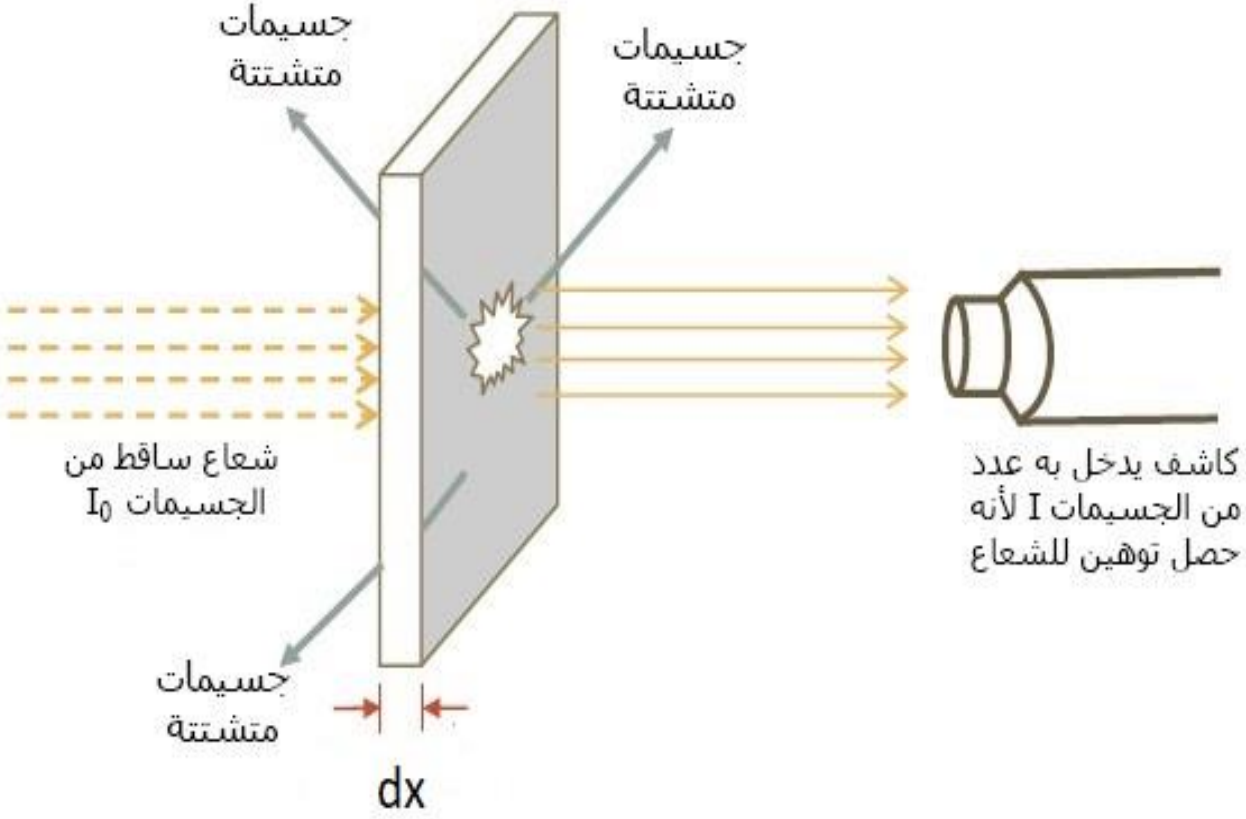
يعرف المقطع العرضي للتفاعل النووي بأنه الاحتمال النسبي لحدوث

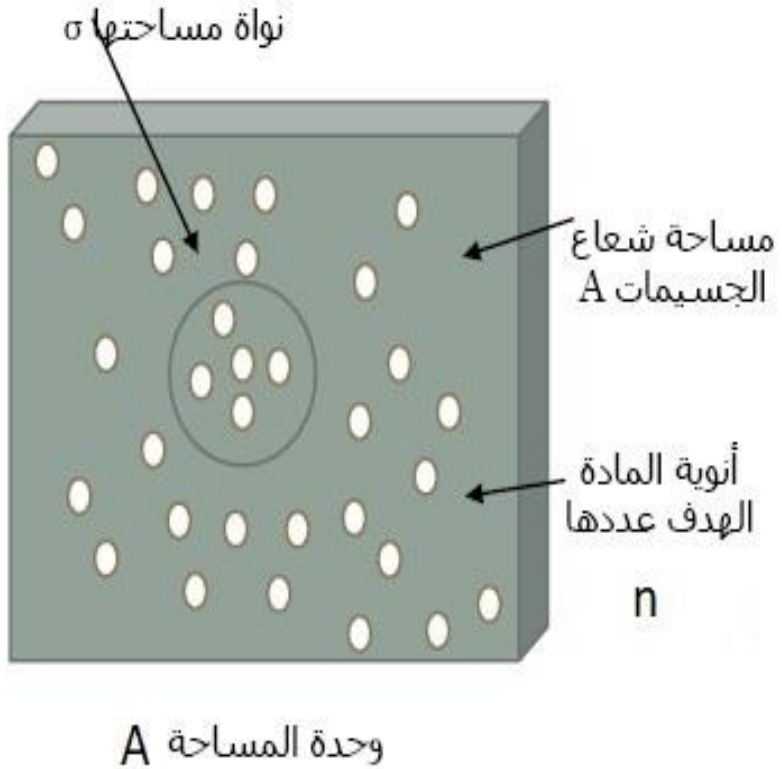
تفاعل نووي ما بين نواة ما وجسيم او نواة اخرى.

ووحدة مساحة المقطع العرضي هي البارن (b) barn حيث

$$1b = 10^{-24}\ cm^2$$

فلو كان لدينا حزمة من الجسيمات ذات طاقة ثابتة شدتها $I_o$ تسقط على هدف رقيق سمكه dx ومساحته A ، فهناك مع كل نواة من النوى مساحة حساسة مقدارها (σ)، بحيث ان الجسيم الساقط يصطدم بالنواة من خلال هذه المساحة ويولد تفاعلا نوويا ينتج عنه (N) من الجسيمات الخفيفة . فاذا كان الهدف يحوي على n نواة في وحدة الحجم ، فان عدد النوى في وحدة المساحة يكونndx ، والعدد الكلي من النوى في المساحة A يكون ndxA . وبما ان هناك مساحة حساسة مع كل نواة σ فان المساحة الحساسة الكلية تكون σ ndxA .


جسيمات
متشتتة
جسيمات
متشتتة
شعاع ساقط من
الجسيمات $I_0$
كاشف يدخل به عدد
من الجسيمات I لأنه
حصل توهين للشعاع
جسيمات
متشتتة
dx


نواة مساحتها σ
مساحة شعاع
الجسيمات A
أنوية المادة
الهدف عددها
n
وحدة المساحة A

ان احتمال تصادم الجسيم الساقط مع نوى الهدف يساوي $\frac{N}{I}$ وتعطى بالعلاقة :

$$\frac{N}{I} = \frac{\text{المساحة الحساسة الكلية}}{\text{المساحة الكلية}} = \frac{ndxA\sigma}{A}$$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)} \quad Or \quad \sigma = \frac{N}{Indx}$$

ومن الممكن أيضاً كتابة النسبة $(\frac{N}{I})$ مساوية الى التغير الحاصل بشدة الحزمة وذلك عند مرورها في الهدف :

$$\frac{N}{I} = -\frac{dI}{I} = n\sigma dx$$

حيث $dI$ تمثل التغير الحاصل بالشدة ، اما الاشارة السالبة فتدل على ان هناك نقصانا بقيمة $I$ كلما زادت قيمة $X$ .

وعند حل المعادلة السابقة بأخذ التكامل ومن ثم اخذ LN للطرفين ينتج :

$$I=I_o\ e^{-nx\sigma}$$

حيث $n\sigma$ تمثل معامل امتصاص الجسيمات في المادة .

وبتطبيق الشرط $x=0$

فان $I=I_o$

وبصورة عامة فان التفاعل الحاصل بين الجسيم الساقط ونواة مادة الهدف قد يسلك عددا من الطرق لانتاج الجسيمات الخفيفة المتعددة : $N_1 , N_2 , N_3 , …., N_i$ في وحدة الزمن ، فاذا افترضنا ان $\sigma_1,\sigma_2 ,\sigma_3, … … .,\sigma_i$ عبارة عن المقاطع العرضية لكل تفاعل نووي فان المقطع العرضي الكلي $\sigma_{total}$ يمكن ان يعرف كحاصل جمع المقاطع العرضية المفردة:-

$$\sigma_{total} = \sum \sigma_i = \frac{N_1+N_2+N_3+\cdots..}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)}$$

للاطلاع

اما مساحة المقطع العرضي التفاضلية differential cross section

والتي يرمز لها بالرمز $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ فتعطى بالعلاقة :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN}{d\Omega} * \frac{1}{\left(\frac{I}{A}\right)(nAdx)}$$

حيث تمثل dN عدد النواتج الخفيفة لوحدة الزمن بزاوية مجسمة dΩ عند زاوية θ بالنسبة لاتجاه الحزمة .

للاطلاع

## ❖الانشطار النووي Nuclear Fission :

هو عملية انقسام نواة ذرة ثقيلة إلى قسمين أو أكثر ويصاحب ذلك انبعاث طاقة، وبهذه العملية يتحول عنصر معين إلى عنصر أخر وينتج عن عملية الانشطار نيوترونات وفوتونات وغيرها .

يمكن ان يحدث الانشطار تلقائيا او بواسطة اقتناص نيوترون او بواسطة القصف بجسيمات d ,p او اشعة كاما . تسمى الكتلتان الرئيسيتان الناتجتان من الانشطار بشظايا الانشطار fission fragment . ان الشظايا تكون غنية بالنيوترونات لذلك فان هناك افضلية لانبعاث النيوترونات منهما . تستمر انحلالات β و γ لتؤدي في النهاية الى تقريب الشظايا من خط الاستقرار .

## تفاصيل عملية الانشطار :-

لنأخذ انشطار نواة $^{235}_{92}U$ بالنيوترون البطيء كمثال على عملية الانشطار :

1. تبدأ عملية الانشطار النووي باقتناص نيوترون حراري من قبل نواة $^{235}_{92}U$ لتتكون النواة المركبة $^{236}U^*$ ويحدث تشويه لشكل النواة لتصبح بشكل كرتين .

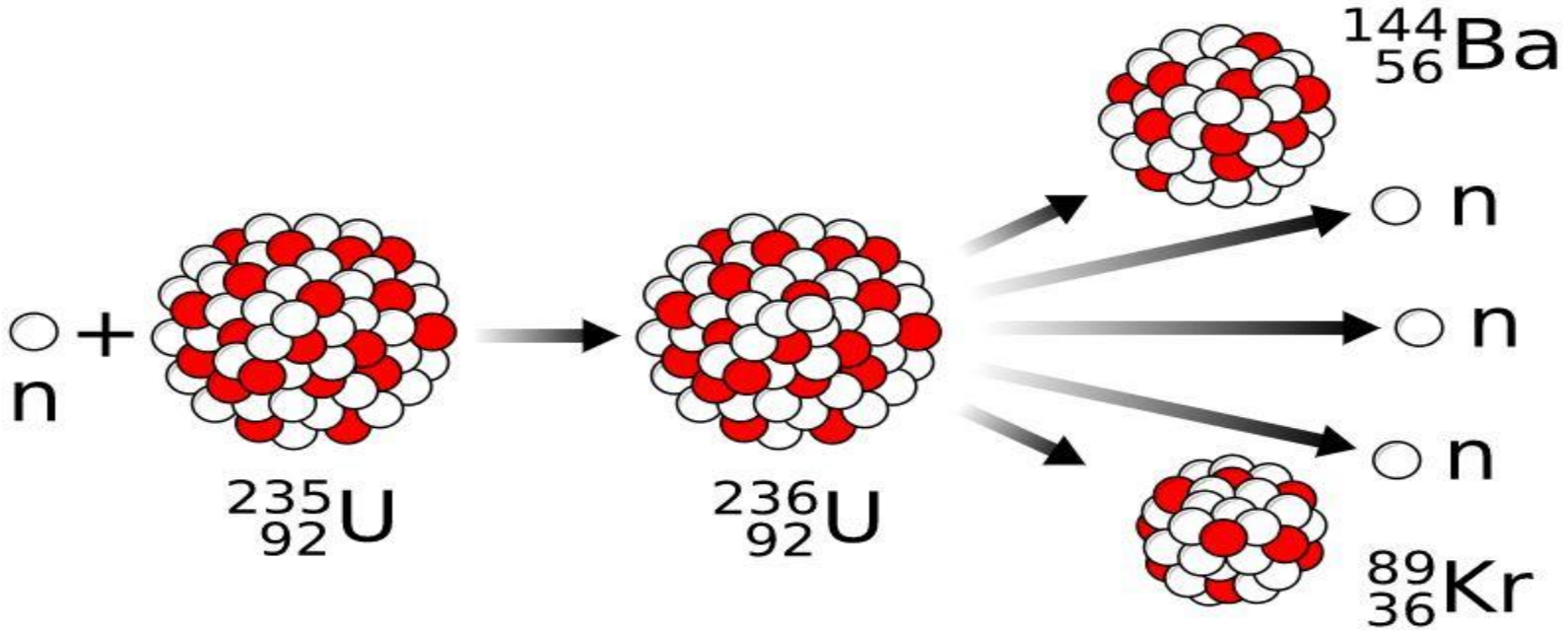
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow \left[^{236}U\right]^*$$

2. بسبب طاقة ترابط هذا النيوترون مع النواة المركبة تحدث اهتزازات عنيفة داخل النواة المركبة تؤدي الى تشوه شكل النواة وتخصرها وبالتالي انشطارها الى شظيتين كبيرتين ( لهما زخمان متساويان ومتعاكسان بالاتجاه تقريبا) مع انبعاث عدد من النيوترونات الفورية prombt neutron بفترة قصيرة جدا $t<10^{-15}$ sec.

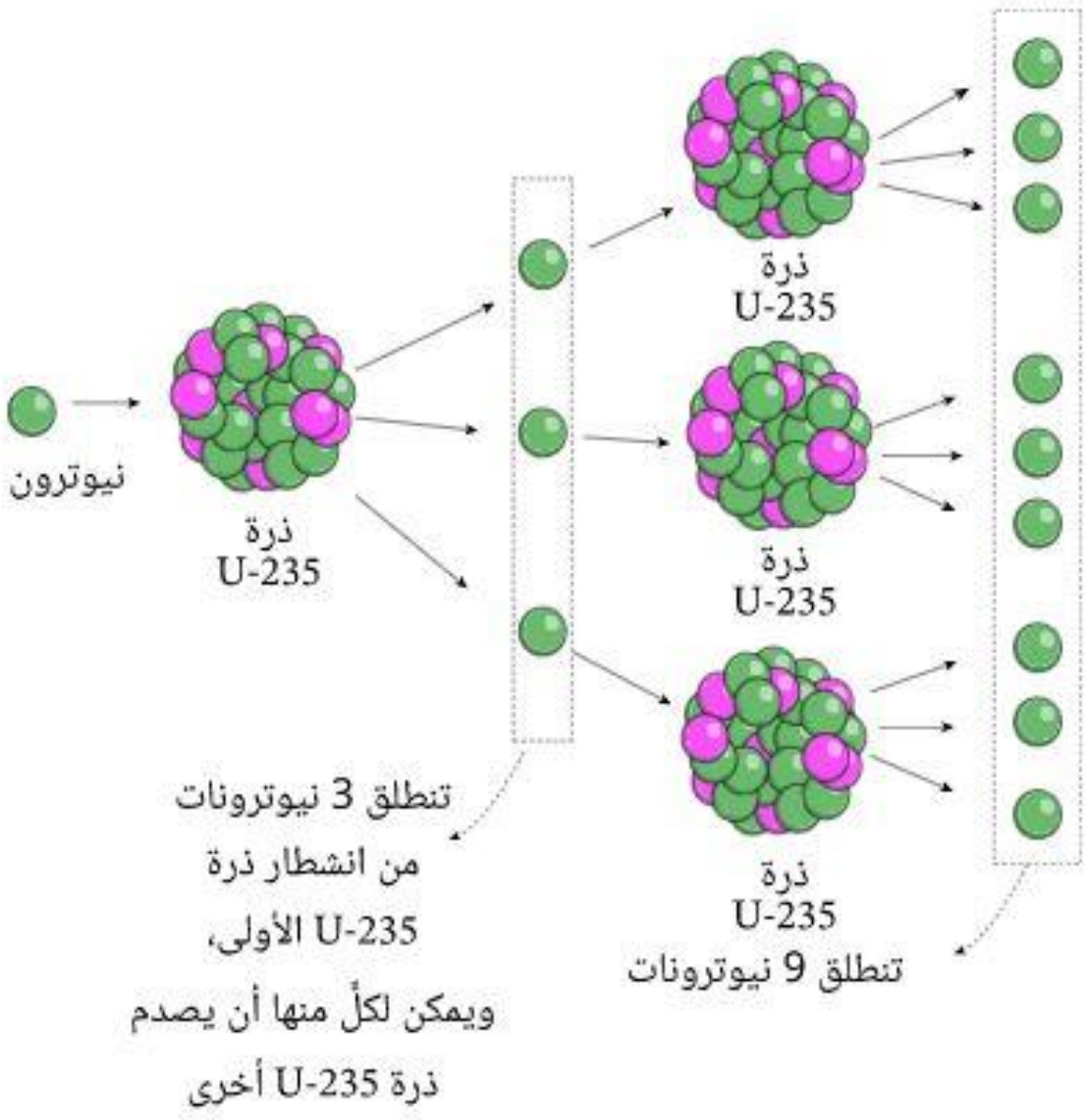
3. ان معادلة التفاعل النووي للانشطار للنظير $^{235}U$ هي :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow [^{236}U]^{*} \rightarrow ^{90}_{36}Kr + ^{144}_{56}Ba + 2^{1}_{0}n + energy$$

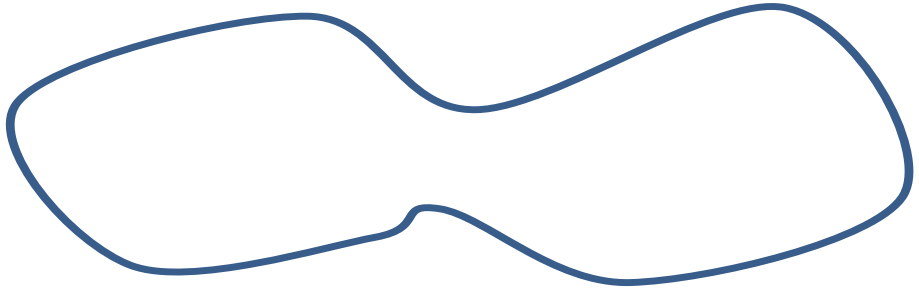
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow [^{236}U]^{*} \rightarrow ^{89}_{36}Kr + ^{144}_{56}Ba + 3^{1}_{0}n + energy$$



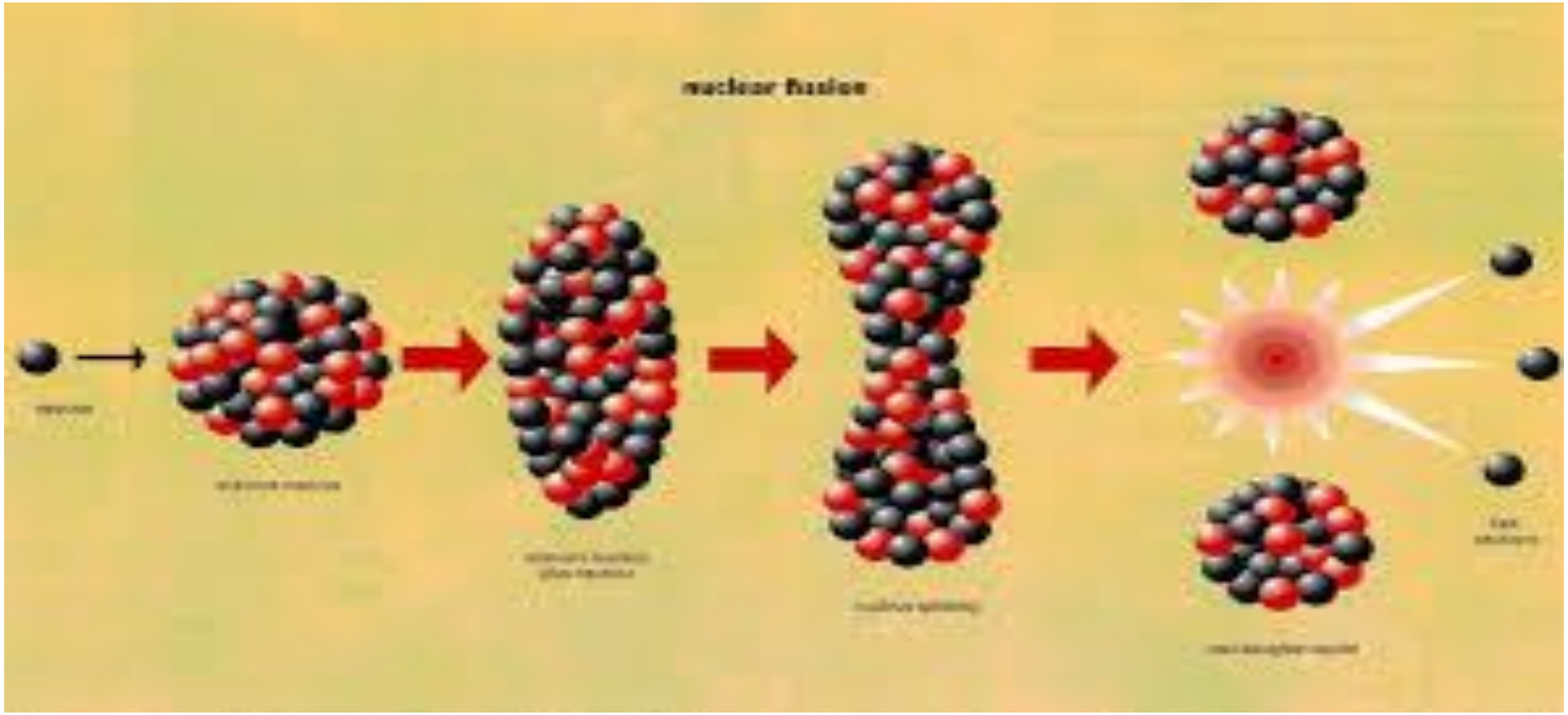
4. ان النيوترونات الناتجة من الانشطار إذا امكن لها ان تنتج انشطارات جديدة فيسمى هذا التفاعل بالتفاعل المتسلسل المتشعب الذي يكون غير مسيطر عليه كما في الاسلحة النووية ، اما إذا امكن لنيوترون واحد انتاج وادامة الانشطار بينما بقية النيوترونات تختفي فيسمى هذا بالتفاعل المتسلسل المستقر كما في المفاعلات النووية .



تشوه شكل النواة $^{236}U^*$ وتخصرها بسبب الاهتزازات العنيفة



انشطار النواة المركبة وانبعاث نيوترونات فورية $t<10^{-15}$ sec وانبعاث كاما فورية


nuclear fusion

س/هل يمكن لنواة $^{238}U$ ان تنشطر بالنيوترونات البطيئة ؟

ج/ ان النواة $^{238}U$ لا تنشطر الا بنيوترونات سريعة وذلك لاختلاف طاقات الترابط مع النواة $^{235}U$ .حيث ان $^{235}U$ هي نواة زوجية – فردية بينما نواة $^{238}U$ هي زوجية – زوجية اي ان طاقة ترابطها اكبر من طاقة ترابط $^{235}U$ ، وتبعا لذلك فالطاقة اللازمة لتهيجها وانشطارها ستكون اكبر اي ان النيوترون الحراري لا يكفي لتهيجها انما نيوترونات سريعة بحيث يكون مجموع طاقة ترابط النيوترون بالنواة مضافا لها طاقته الحركية قبل دخوله النواة كافيا لتهيج النواة وانشطارها .

ولذلك عند قصف $^{238}U$ بالنيوترونات الحرارية لا يحدث انشطار وانما يحدث تفاعل أسر كما في المعادلة التالية :

Thermal

$$^{238}U + n \rightarrow ^{239}U + \gamma$$

غير ان عملية الانشطار يمكن ان تحدث في $^{238}U$ باستخدام نيوترونات سريعة :

Fast

$$^{238}U + n \rightarrow ^{239}U^{*} \rightarrow \text{fission}$$

الانشطار.exe

# Nuclear Fission

## ❖ الاندماج النووي Nuclear fusion :-

هو اتحاد نواتين متصادمتين لتكوين نواة كبيرة وتحرير طاقة ، حيث يمكن عند اتحاد جسيمتين نوويتين ان تحرر طاقة لان كتل النوى الناتجة اقل من كتل الجسيمات المتفاعلة. ان قوى التنافر الكهروستاتيكية تكون قوية بين النوى المشحونة لذلك يستلزم اعطاؤها طاقة كافية للتغلب على هذا التنافر بحيث تقترب الجسيمتان او النواتان من بعضهما للدرجة التي تتغلب فيها القوى النووية التجاذبية على قوى التنافر الكهروستاتيكية . اي ان الاندماج بعيد الاحتمال للعناصر الثقيلة ويتركز العمل على اندماج النوى الخفيفة .

ان ابسط تفاعل اندماجي هو اقتناص النيوترون من قبل البروتون .

$$_{1}^{1}H + _{0}^{1}n \rightarrow _{1}^{2}H + 2.226\ MeV$$

$$_{1}^{1}H + _{1}^{1}H \rightarrow _{1}^{2}H + e^{+} + \bar{\nu} + 1.35\ \ MeV$$

لقد فسر علماء الفضاء انتاج الطاقة الحرارية والضوء في النجوم والشمس بانه نتيجة للاندماج النووي عن طريق :

## 1 - دورة بروتون – بروتون proton – proton cycle

$$_1^1H + _1^1H \rightarrow _1^2H + e^+ + \nu$$

$$_1^1H + _1^2H \rightarrow _2^3He + \gamma$$

$$_2^3He + _2^3He \rightarrow _2^4He + 2_1^1H$$

## 2- وملخص الدورة ( مجموع المعادلات الثلاثة ) هو : -

$$4_1^1H \rightarrow _2^4He + 2e^+ + \nu + \gamma$$

3- دورة كاربون نيتروجين carbon – Nitrogen cycle وكالتالي :-

$$^{1}_{1}H + ^{12}_{6}C \rightarrow ^{13}_{7}N + \gamma$$

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

$$^{1}_{1}H + ^{13}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + \gamma$$

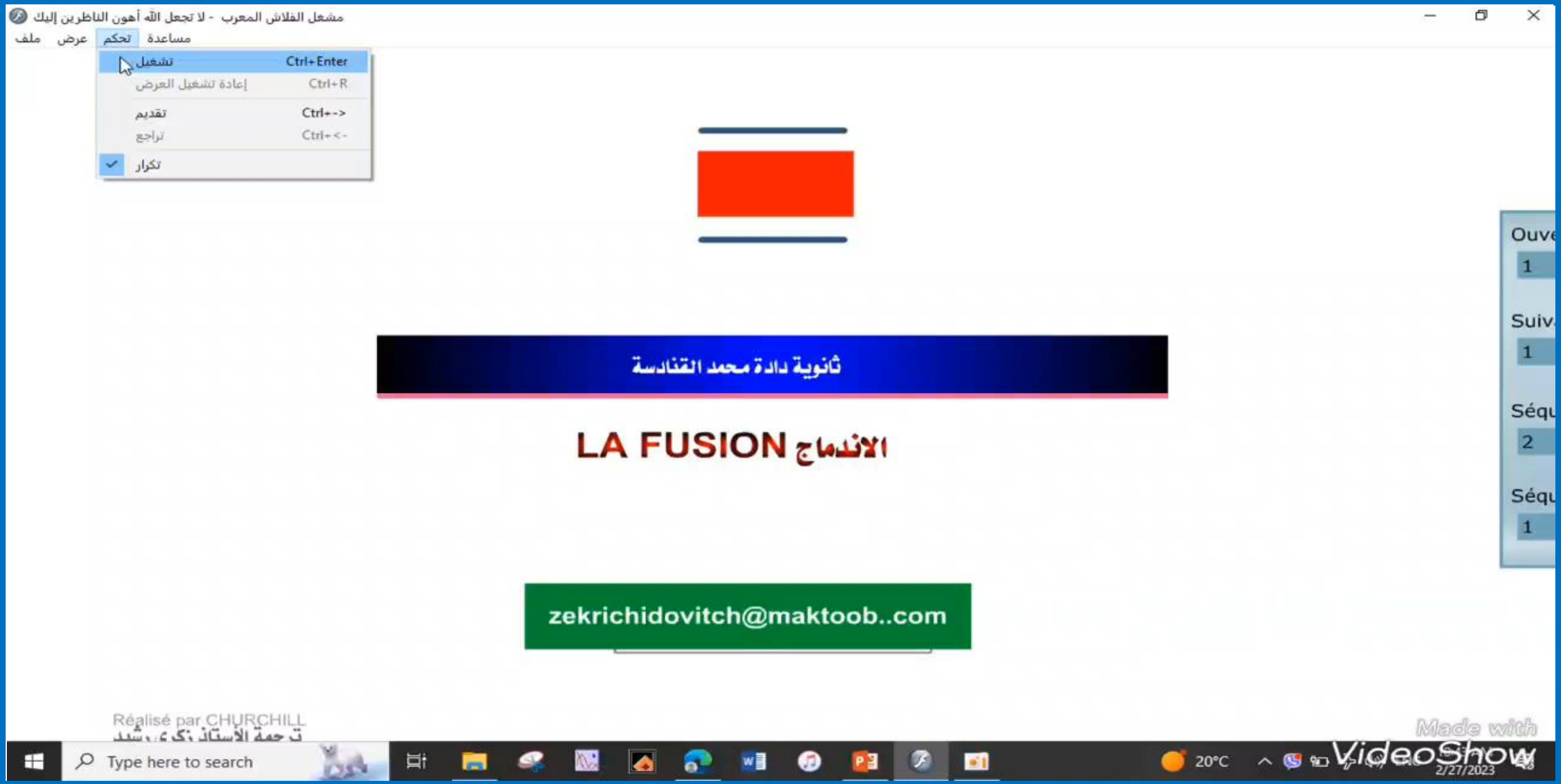
$$^{1}_{1}H + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{15}_{8}O + \gamma$$

$$^{15}_{8}O \rightarrow ^{15}_{7}N + \beta^{+} + \nu$$

$$^{1}_{1}H + ^{15}_{7}N \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$$

وباضافة كل التفاعلات السابقة وحذف الحدود المشتركة نحصل على :-

$$4\,^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + 2e^{+} + 2\nu + 26.7\ MeV$$




الفيزياء النووية
أ.م.د. عدي طارق صبحي

محاضرة 12

س/احسب قيمة Q للتفاعل :

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H + Q$$

حيث ان :

$M_N$= 14.0075 amu , $M_\alpha$ = 4.0039 amu

$M_o$= 17.0045 amu , $M_p$= 1.0081 amu

وكم هي طاقة العتبة لهذا التفاعل ؟ ثم ما مجموع الطاقة الحركية للنواة المتبقية والجسيم الخارج ؟

الحل /

$$Q = 931.5 \{M_a + M_x - M_b - M_y\}$$

$$Q = 931.5 \{ 4.0039 + 14.0075 - 1.0081 - 17.0045 \}$$

$$Q = -1.118 \text{ MeV}$$

ان (Q<0) وهذا يعني ان هذا التفاعل ماص او مستهلك للطاقة لان قيمة Qسالبة ، لذلك يستلزم اعطاء جسيمات الفا بالاقل طاقة عتبة مقدارها ($T_{th}$) لحدوث التفاعل :

$$T_{th} = -Q\left(\frac{M_a+M_x}{M_x}\right) = -(-1.118)\left(\frac{4.0039+14.0075}{14.0075}\right)$$

$$T_{th} = 1.4375\ MeV$$

$$Q = T_b + T_y - T_a$$

$$-1.118 = T_b + T_y - 1.4375$$

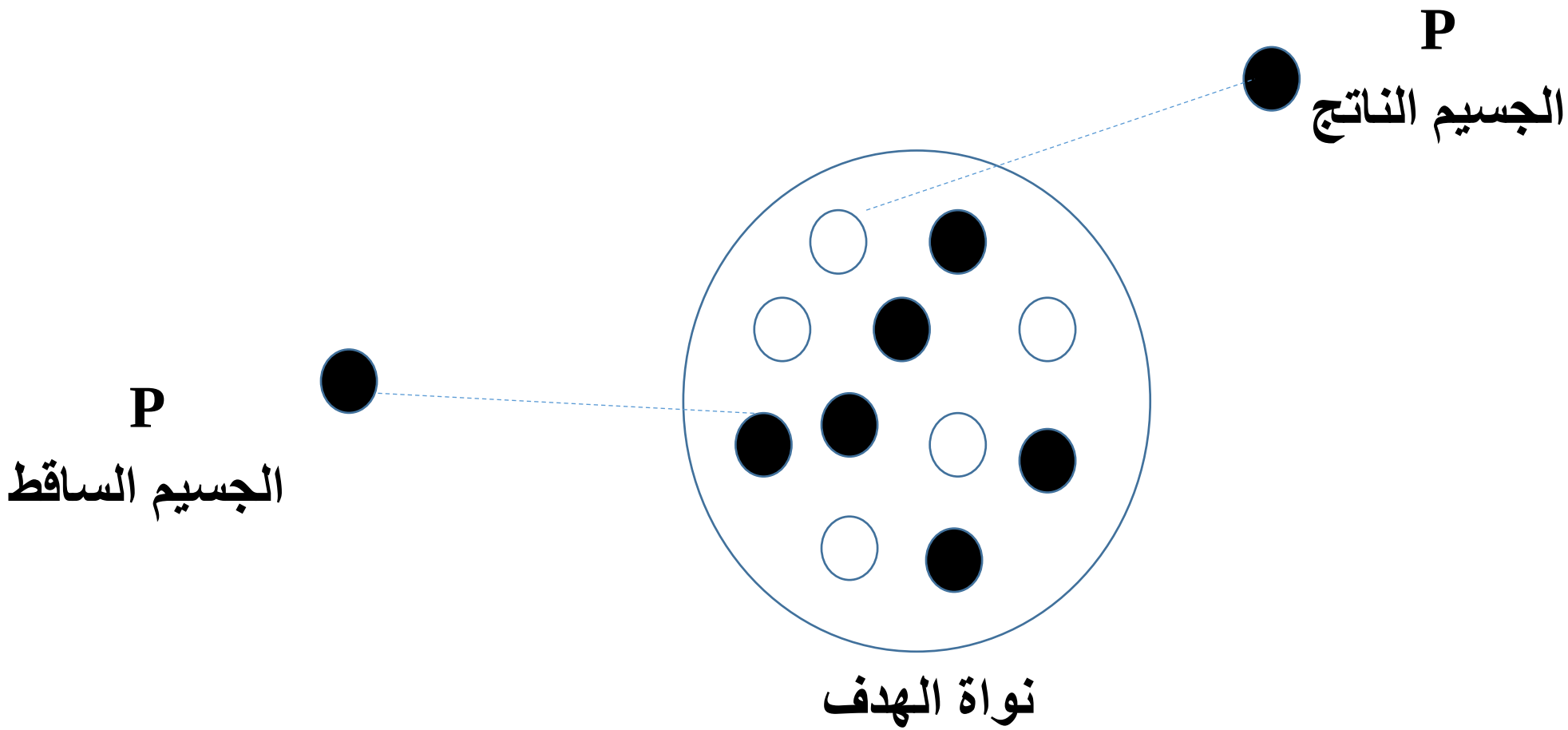
$$T_b + T_y = 0.3195\ MeV$$

❖التفاعلات النووية المباشرة :-

هناك عدة انواع من التفاعلات النووية المباشرة وسوف نلخصها بما يلي:-

1-تفاعلات التشتت غير المرن (n,n) ، (p,p) :

يحدث هذا النوع من التفاعلات إذا كانت القذيفة نيوكليون (بروتون ، نيوترون) ذو طاقة عالية جدا وعند اصطدامه بأحد مكونات النواة يفقد جزء من طاقته وينطلق بالجزء المتبقي .

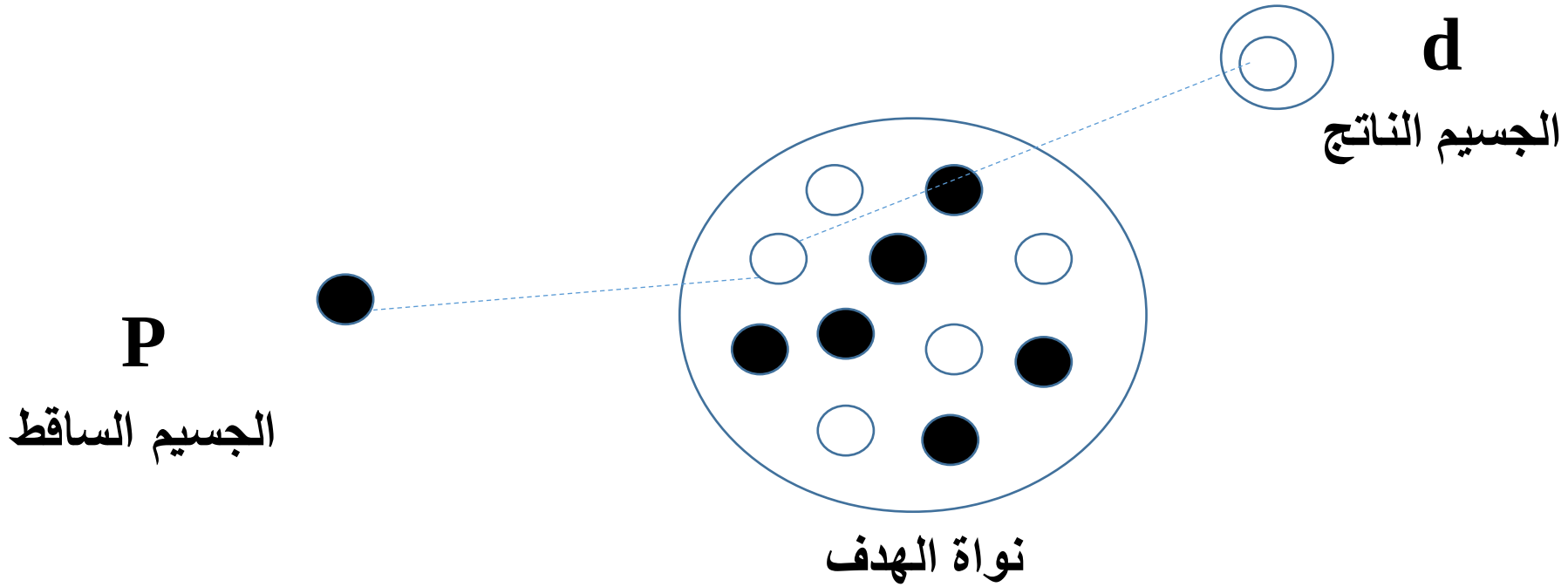

P
الجسيم الناتج
P
الجسيم الساقط
نواة الهدف

**2- تفاعلات (التطاير) تبادل الشحنات (n,p) – (p,n) او يسمى تفاعلات الطرد :**

**في هذا النوع من التفاعلات لا يخرج الجسيم الساقط ولكن بدلا من ذلك يخرج جسيم اخر من النواة . فاذا سقط نيوترون خرج بروتون واذا سقط بروتون نتج نيوترون وكأن النيوكليون الساقط قد تبادل احد الميزونات مع النواة وخرج بخصائص جديدة.**

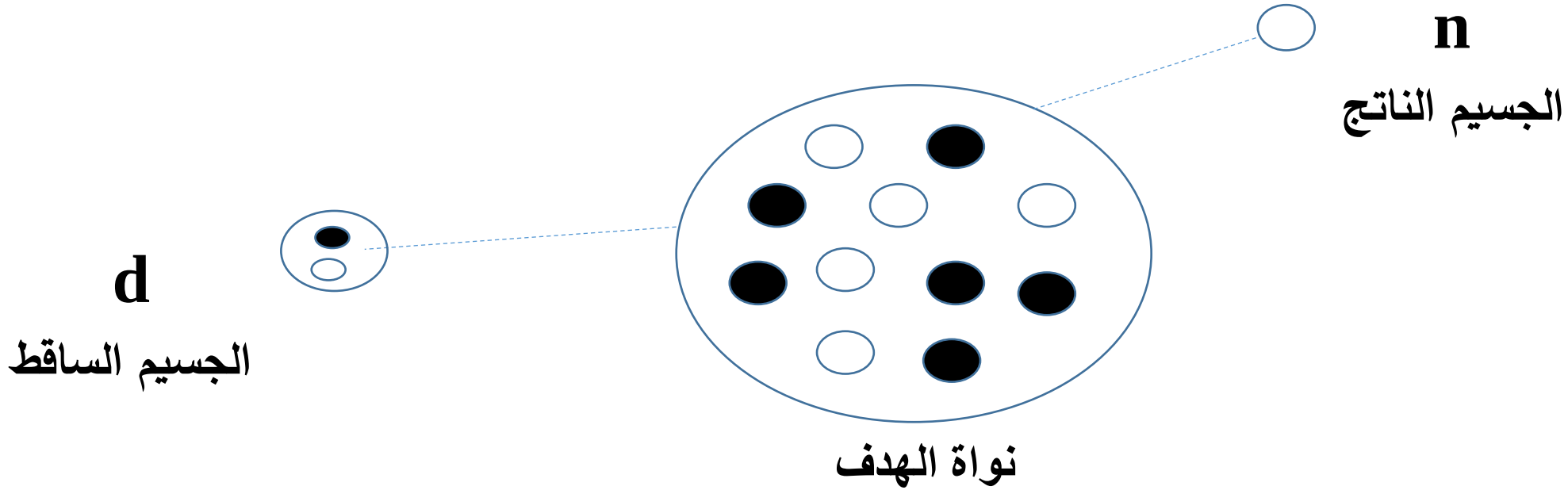
## 3- تفاعلات الالتقاط (p.d) – (n.d) :

في هذا النوع من التفاعلات يلتقط النيوكليون الساقط على النواة نيوكليون مغاير له من سطح النواة ويخرج معا كنواة ديوترون . تحدث عملية الالتقاط غالبا على سطح النواة .



## 4- تفاعلات الانخلاع او الانتزاع (d,n) – (d,p) :

على النقيض من تفاعلات الالتقاط فان الجسيم الساقط يكون ديوترون ( بروتون+ نيوترون) وحيث ان طاقة الترابط النووي له ضعيفة فان اصطدام الديوترون بنواة الهدف يجعله يفقد احد مكوناته بينما يستمر النيوكليون الاخر في طريقه كناتج للتفاعل.



## 5ـتفاعلات تذبذب ودوران النواة الهدف :ـ

في هذا النوع من التفاعلات لا يخترق الجسيم الساقط النواة بل يقترب منها فقط ونتيجة لذلك يحدث رد فعل في نواة الهدف كلها مثل حدوث دوران او ذبذبة.

الى هنا ننتهي من محاضرة هذا

اليوم وان شاء الله التقيكم

بالمحاضرة القادمة