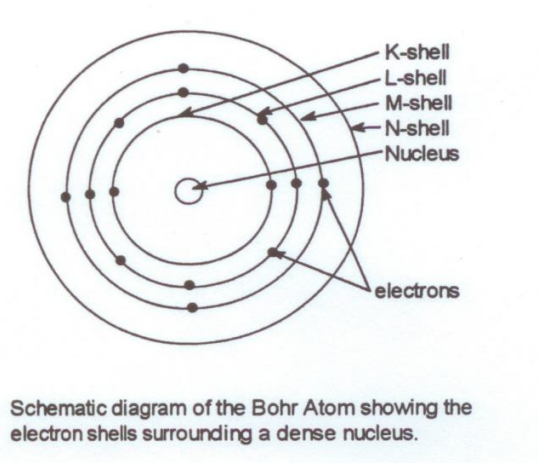
هو الشافی

مبحث : داروسازی هسته ای

جلسه : اول تاریخ : 90/12/16

استاد : دکتر شاه حسینی اعضای گروه : جعفر نیکزاد، قاسمی

مقدمات فیزیک هسته ای :



Schematic diagram of the Bohr Atom showing the electron shells surrounding a dense nucleus.

مدل بور

انواع مدل های اتمی برای توجیه ساختار الکترونی ارائه شد که مدل اتمی بور از این نظر که هم ساده است و هم تمام اطلاعات مورد نیاز ما را ارائه میکند،بهترین مدل است.

در این مدل هسته در مرکز است و در اطراف آن مدارهایی قرار دارند که الکترون ها در آن مدار دور هسته می گردند.

❖ **سه ذره بنیادی اتم :**

1 – الکترون **2** - نوترون **3** – پروتون

بقیه ذرات از ابتدا در اتم موجود نیستند و در اثر واکنش های هسته ای ایجاد می شوند.

واحد جرم اتمی : amu

1 amu = **1.66** $\times$ **10** $^{-27}$ kg = $\frac{1}{12}$ ^{12}c جرم اتمی

Particle	Mass (Kg)	Mass (AMU)	Charge (coulomb)	Abbrev
Proton	1.67252×10^{-27}	1.007277	1.6×10^{-19}	p
Neutron	1.67482×10^{-27}	1.008665	No charge	n
Electron	9.1091×10^{-31}	0.000549	1.6×10^{-19}	e

جرم هر پروتون و نوترون تقریبا یک amu **است، نوترون کمی از پروتون سنگین تر است، الکترون و پروتون ذرات باردار هستند و نوترون هم بار ندارد.**

بار الکتریکی پروتون = c 10^{-19} $\times$ **1/6 = (بار الکتریکی الکترون)-**

جرم الکترون در حدود 2000 برابر کمتر از جرم نوترون و پروتون است.

علامت اختصاری نمایش اجزای اتمی

اطراف هسته	الکترون	e
درون هسته	پروتون	p
درون هسته	نوترون	n

تمام جرم و بار اتم در هسته ی آن تمرکز دارند.

مهم : جرم وانرژی طبق فرمول رو به رو قابل تبدیل به همدیگر است. ← $E = mc^2$

طبق این فرمول

1 n یا p = **1** Dlton = **1** amu = **931** Mev

1 e_{mass} = **0/000549** amu = **0/511** Mev

نوکلئون ← تعداد نوترون + تعداد پروتون

هر اتم از نظر الکتریکی خنثی است چون تعداد پروتون ها و الکترون ها با هم برابر است.

الکترون ها و نحوه ی قرار گرفتن آن ها در مدارهای لایه ی ظرفیت خواص شیمیایی اتم را تعیین میکنند ولی خصوصیات اصلی اتم مربوط به تعداد پروتون های هسته ی آن است.

اندازه ی اتم :

قطر اتم	**1** A	10^{-10} m
قطر هسته ی اتم	**1** ferm	10^{-15} m

در فیزیک هسته ای بیشتر از دو واحد آنگستروم و فرمی استفاده میشود.

با محاسبه ی نسبت قطر اتم به هسته ی اتم متوجه میشویم که قطر اتم 10^5 برابر هسته ی اتم است. از این نسبت می توان نتیجه گرفت که بیشتر اتم فضای خالی است.در این فضای خالی الکترون ها در حال گردش هستند. هسته ی اتم هم بیشترِ جرم و بار اتم را دارد.

عدد اتمی و عدد جرمی :

عدد اتمی : تعداد پروتون های هسته است و با حرف (Z) نمایش داده میشود. (Z = P)

عدد جرمی :مجموع تعداد پروتون (P) + تعداد نوترون (N). عدد جرمی با حرف A نمایش داده می شود (A = N + P)

عدد جرمی،عدد نوکلئون هم نامیده میشود،چون پروتون و نوترون نوکلئون نیز نامیده می شوند.

نحوه نمایش یک عنصر : $^{A}_{Z}X_{N}$

با توجه به اینکه تعداد پروتون ها نمایش دهنده ی هر عنصر است،بنابراین علامت اختصاری هر عنصر به نوعی تعداد پروتون های آن را نیز نمایش می دهد ،بنابراین نیازی به ذکر Z نیست،از طرفی A هم مجموع Z و P است،بنابراین فقط با مشخص بودن A می توان به N وZ پی برد و نیازی به ذکر Z و N در کنار نماد اتمی نیست.

نماد های اتمی به طور خلاصه شده :

^{A}X , A - X , X -A , X(A)

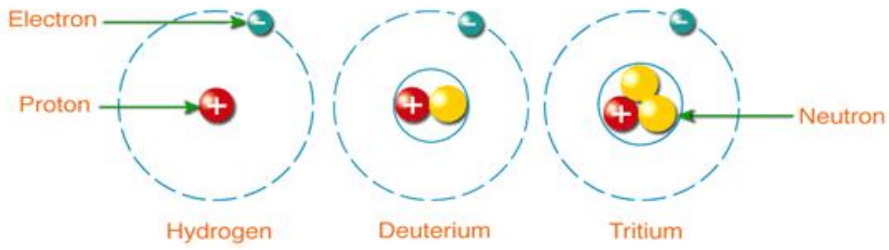
نوکلئید و ایزوتوپ:

تعداد عناصر شناسایی شده حدود **119** عنصر است. با این وجود حدود **3000** نوکلئید nuclide شناسایی شده است.

نوکلئید به اتم با تعداد مشخص پروتون و نوترون در هسته گفته میشود.علت این اختلاف وجود پدیده ی ایزوتوپی است.چون عناصر می توانند ایزوتوپ مختلف داشته باشند در نتیجه تعداد نوکلئیدها از تعداد عناصر بیشتر است. **(ایزوتوپ = نوکلئید با تعداد p یکسان و N متفاوت)**.برای مثال هیدروژن سه نوکلئید دارد.

مثال :

تریتیوم	$^{۳}_{۱}H_{۲}$
دوتریوم	$^{۲}_{۱}H_{۱}$
هیدروژن	$^{۱}_{۱}H$



۱

طبقه بندی نوکلئیدها :

1) ایزوتوپیک: P یکسان, N متفاوت

مثال : ایزوتوپ های هیدروژن $^{1}H, ^{2}H, ^{3}H$

ایزوتوپ های اکسیژن $^{15}O, ^{16}O, ^{18}O$

از نظر خواص شیمیایی این نوکلئیدها با هم مشابه هستند و جداسازی آنها غیر ممکن است،مگر اینکه آنها از روی اختلاف وزن جداسازی کرد،البته به شرطی که اختلاف وزن قابل توجهی با هم داشته باشند.

2) ایزوتونیک : N یکسان , P متفاوت (عدد جرمی متفاوت)

مثال : $^{62}Cu, ^{60}Co, ^{59}Fe$

3) ایزوباریک : عدد اتمی و تعداد N متفاوت , A یکسان

مثال : $^{67}Ge, ^{67}Ga, ^{67}Zn, ^{67}Cu$

4) ایزومریک : تعداد A , N , P یکسان

فقط از نظر سطح انرژی اختلاف دارند, این نوکلئیدها هم از نظر خواص شیمیایی یکسان هستند.

$^{99}_{43}Tc^{m}$ **(برانگیخته)**

$^{99}_{43}Tc$ **(حالت پایه)**

پس توجه کنیم که از بین نوکلوئیدها فقط ایزوپیک و ایزومریک خواص شیمیایی یکسان دارند.

برای بدست آوردن جرم اتمی به صورت محاسبه شده، n، p، e **را با هم جمع می کنیم. با مقایسه این جرم با مقدار بدست آمده از روش تجربی ، مقادیری بدست می آید که به آن** Mass defect **گفته می شود. (یا نقصان جرم)**

مقدار محاسبه شده جرم اتمی **1**p **+1**n **+1**e = **2/016491** amu

مقدار تجربی به دست آمده جرم اتمی **2/014102**

0/002389 amu (mass defect)

این اختلاف جرم در همه ی عناصر دیده میشود. یعنی برای همه عناصر بین مقدار جرم محاسبه شده ی اتمی با مقدار جرم بدست آمده از روش تجربی اختلاف وجود دارد.این اختلاف جرم قابل تبدیل به انرژی است.

0/002389×**931**=**2/22** Mev

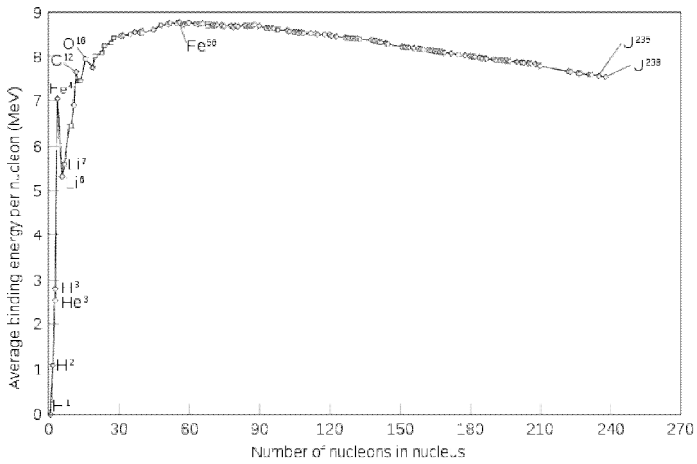
این انرژی با نام Binding Energy یا انرژی همبستگی هسته شناخته می شود.این انرژی هنگام تشکیل هسته از اجتماع N,P آزاد می شود، تا این ذرات راکنار هم نگه دارد. برای تجزیه ی دوباره ی هسته ی اتم همین مقدار انرژی باید صرف شود.

در اتم دوتریوم، که یک p و یک n دارد، انرژی همبستگی **2/22** Mev است که این مقدار انرژی به ازای هر ذره **1/10** Mev است.

$$\frac{2/22\,Mev}{2} = 1/10 \text{ Mev binding } \frac{energy}{nucleous}$$

نکته مهم : هرچه Binding energy یک هسته بیشتر باشد، پایداری آن بیشتر است، چون همین مقدار انرژی باید صرف تجزیه ی هسته ی آن شود.

با دقت در نمودار مربوط به ارتباط Z ، Binding energy مشخص می شود که در مراحل اولیه Binding energyصعود سریعی مشاهده می شود.با ادامه روند به جایی می رسیم که حالت plateau مشاهده می شود که در این مراحل آهن، کبالت، نیکل



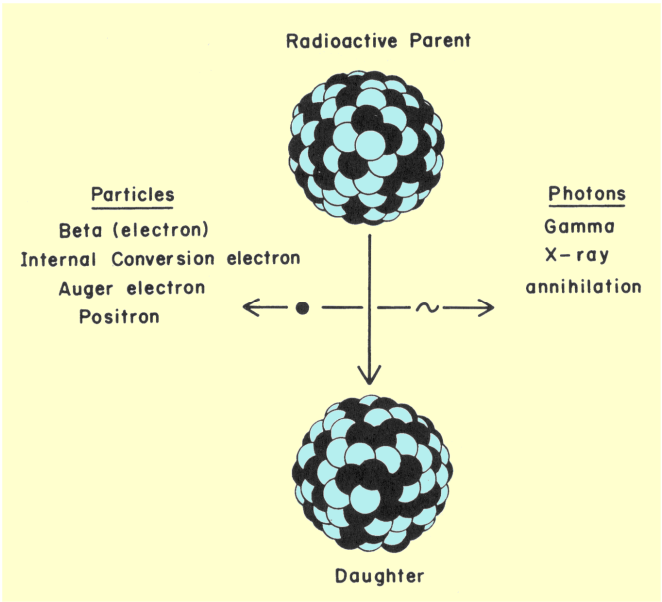
که جزء پایدارترین عناصر طبیعت هستند قرار دارند. از این مرحله به بعد ، با افزایش عدد جرمی، مجدد Binding energy کاهش یافته و اتم ناپدار می شود.

رادیواکتیوته :

حدود **300** نوکلوئیدها شناخته شده به دو دسته تقسیم می شود.

1) نوکلوئیدهای پایدار

2) نوکلئیدهای رایواکتیو یا رادیونوکلوئیدها



از میان عناصر طبیعی شناخته شده، $^{209}_{83}Bi$ سنگین ترین عنصر پایدار در طبیعت به شمار می رود. از عدد اتمی **83** به بعد عنصر ناپایدار می شوند. پس در حدود **81** اتم در جدول

ایزوتوپ پایدار دارند و رادیواکتیو هستند. برخی از این رادیونوکلئیدها به اندازه ای نیمه عمر دارند که برخی از آنها از زمان پیدایش زمین ایجاد شده اند هنوز وجود دارند. این نوع نوکلوئیدها جزء نوکلوئیدهای ایزوتوپیک به شمار می روند. برخی از این نوکلوئیدها پایدارند و برخی رادیواکتیو هستند.

مثال: ^{12}C و ^{13}C پایدار هستند، ولی ^{14}C و ^{11}C دوایزوتوپ ناپایدار کربن به شمار میروند.

species	A number	Z number	N number	stability
^{11}C	11	6	5	unstable
^{12}C	12	6	6	stable
^{13}C	13	6	7	stable
^{14}C	14	6	8	unstable

مثال: ^{2}H و ^{1}H پایدار هستند، ولی ^{3}H حالت رادیواکتیو دارد. (تریتیم رادیوایزوتوپ هیدروژن محسوب می شود.)

نکته پایانی: تا عدد اتمی**83**، برای هر عنصر ممکمن است هم ایزوتوپ پایدار و هم ایزوتوپ رادیواکتیو داشته باشیم ولی برای عدد اتمی بیشتر از **83** فقط ایزوتوپ های رادیواکتیو دیده می شود.

بررسی دلایل پایداری و ناپایداری هسته عناصر:

رادیوایزوتوپ های ناپایدار به طور خود به خود و بدون اثر عامل خارجی واپاشیده یا (decay) می شوند و به نوکلوئید دیگری تبدیل می شوند. این نوکلوئید جدید ممکن است خود پایدار باشد یا نباشد . اگر پایدار نباشد مجددا واپاشی صورت می گیرد و این روند آن قدر انجام میشود تا سرانجام یک هسته ی پایدار تولید شود.

توضیح مختصری در مورد پایداری نوکلوئیدها و عدم پایداری دیده شده است که اگر نسبت N به Z در هسته ی اتم با هم برابر باشند و هسته مورد نظر هم هسته کوچکی باشد هسته پایداری دارد. مثال: $^{12}_{6}C_{6}$, $^{16}_{8}O_{6}$, $^{14}_{7}N_{7}$

بین پروتونهای هسته نیروی دافعه ی کلونی وجود دارد.اگر نیروهای دافعه ی کلونی تنها نیروی بین ذرات باشد پروتونهای هسته نمی توانستند کنار هم قرار بگیرند. پس مشخص میشود که علاوه بر نیروهای کلونی نیروهای دیگری هم در پایداری هسته دخالت دارند. نیروهای نگهدارنده هسته نیروی است که علاوه برنیروی کلونی در هسته وجود داردوباعث کنار هم ماندن اجزاء هسته می شود. نیروهای نگهدارنده هسته نیروهایی با برد محدود هستند وفقط درمحدوده ی هسته اثر می کنند درحالیکه نیروهای کلونی در بردهای مسافتی بیشتراثرمی کنند.

گفته میشود که منشاء نیروهای نگهدارنده هسته نوترونها هستند که باعث کنار هم ماندن پروتونها می شوند. با افزایش عدد اتمی عنصر،تعداد نوترون بیشتری برای کنار هم نگهداشتن پروتونها لازم است . این افزایش تا **1/ 5** برابر تعداد پروتونها دیده می شود.

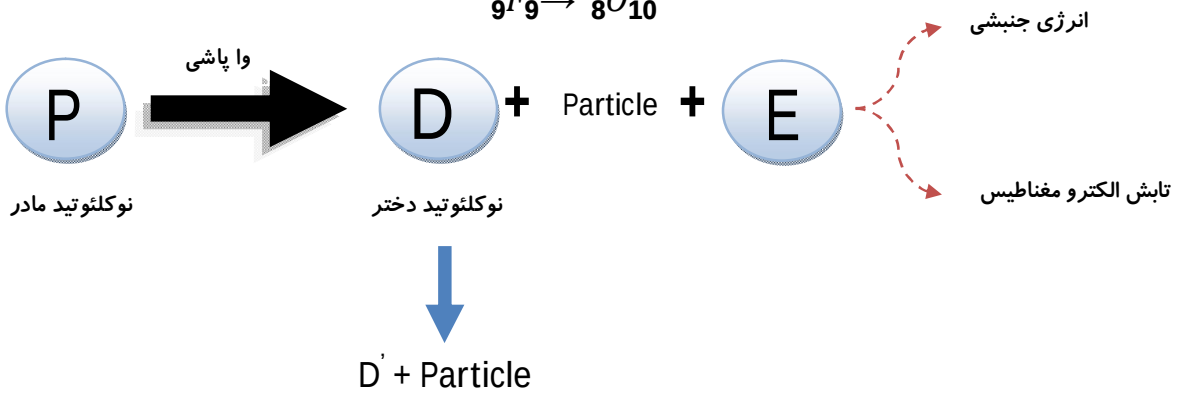
مثال: $^{127}_{53}I_{74}$, $^{208}_{82}Pb_{126}$

با افزایش عدد اتمی از83، با افزایش تعداد پروتونها هر چه تعداد نوترونها بالاتر رود تاثیری در ایجاد پایداری ندارند.

استثناء: بعضی از نوکلوئیدها هستند که باوجود کوچک بودن ومساوی بودن تعدادنوترونها وپروتونها باز هم ناپایدار هستند

مثال: این فلوئور بطور طبیعی وجود ندارد وبطور مصنوعی ایجاد میشود همانطور که الکترونها سطوح انرژی دارند برای پروتون ونوترون سطوح انرژی وجود دارد که اگر حالت جفت داشته باشد پایدار و اگر حالت جفت نداشته باشد ناپایدار است . اما از واپاشیدگی آن $^{18}_{8}O$ ایجاد می شود که پایدار است.

$$^{18}_{9}F_{9} \rightarrow {}^{18}_{8}O_{10}$$



$D^{'}$ + Particle

نوکلئید دختر اگر پایدار نباشد،مجددا واپاشیده می شود و به نوکلئید دختر دیگری تبدیل میشود.

روش های مختلف واپاشی رادیو نوکلئید :

1) fission
2) α Decay
3) β^-Decay
4) β^+ (position) Decay
5) (EC) Electron Capture
6) Isomeric Transition

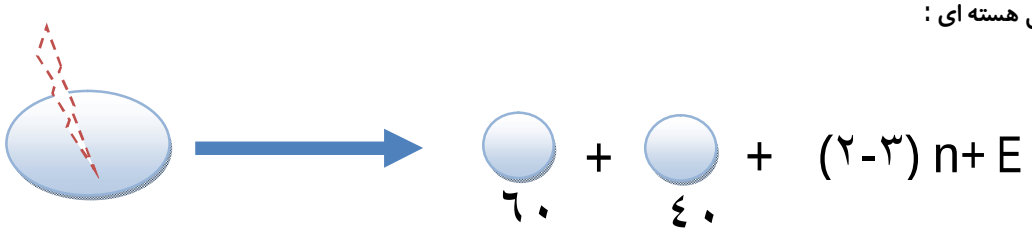
1) شکاف (fission) :

معمولا نوکلئیدهایی که سنگین هستند , عدد اتمی شان از **90** باید بیشتر بوده و عدد جرمی آنها بالای **230** است،این نوکلئید بزرگ به طور خودبه خود می تواند شکافته شده تبدیل به دو نوکلئید دیگر شود.معمولا محتویات هسته , با دو نسبت

60 و40 بین دو هسته ی دختری تقسیم می شود.دو هسته ی دختری ایجاد شده لزوما در تمامی واپاشی ها یکسان نیستند و ممکن است از واپاشی دو هسته ی یکسان , هربار دو هسته ی دختری متفاوت ایجاد شود.

در شکاف هسته ای باید طبق قانون بقای جرم, مجموع N و P در دو طرف واکنش با هم برابر باشد.در هر شکاف معمولا 2 تا 3 نوترون ایجاد شده و مقادیر زیادی انرژی آزاد می شود.

شمای کلی واکنش هسته ای :



نحوه ی ایجاد شکاف :

شکاف به دو صورت می تواند ایجاد شود

1. خودبه خودی (Spontaneously) : بدون اثری خارجی هسته,خود به خود شکافته می شود. در این نوع شکاف,نیمه عمر ذرات ایجاد شده بسیار طولانی است.رادیو ایزوتوپ هایی که معمولا بطور معمول مورد استفاده قرار می گیرند,نیمه عمر کوتاه دارند و با روش دیگری به طور مصنوعی ایجاد میشوند.

2. بمباران توسط نوترون های حرارتی : در این روش نوکلئیدهای ایجاد شده , نیمه عمر کمتری دارند و یکی از روش های ساخت رادیو ایزوتوپ های پزشکی این روش است,در این روش نوکلئیدهای بسیار مهمی ساخته میشود.

نکته : بعضی عناصر مثل ^{254}Cf وجود دارند که برخلاف سایر عناصر,نوکلئیدهای حاصل از شکاف خود به خودی آن نیمه عمر کوتاهتری دارند.(55 روز) از این نوکلئید برای کارهای درمانی و پزشکی استفاده می شود.
(در حدود 3% شکاف خود به خودی دارند.)

$$^{1}_{0}n_{1} + {}^{235}_{92}U_{143} \rightarrow \left\{ {}^{236}_{92}U_{144} \right\} \rightarrow {}^{137}_{52}Te_{85} + {}^{97}_{40}Zr_{57} + 2\,{}^{1}_{0}n_{1}{}^{b} + \text{energy}$$

این واکنش در رئاکتور سوخت هسته ای انجام میشود و در جریان آن انرژی بسیار زیادی آزاد میشود که برای تولید برق استفاده میشود. توجه کنیم که در دو طرف جرم ها در تعادل هستند. اورانیوم به صورت دیگری هم میتواند شکاف پیداکند.

$$^{1}_{0}n_{1} + {}^{235}_{92}U_{143} \rightarrow \left\{ {}^{236}_{92}U_{144} \right\} \rightarrow {}^{141}_{55}Cs_{86} + {}^{93}_{37}Rb_{56} + 2\,{}^{1}_{0}n_{1} + \text{energy}$$

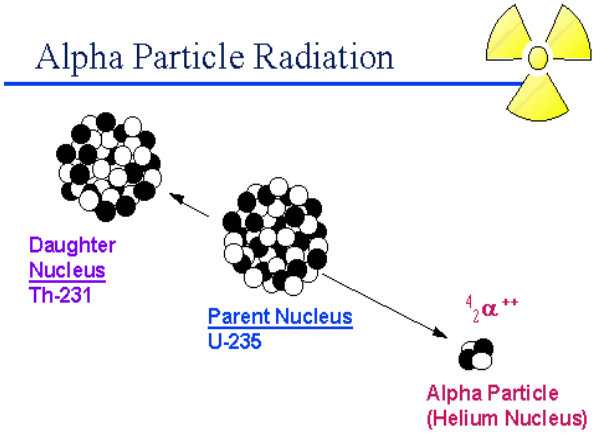
بسیاری از رادیو نوکلئیدهای مهم در پزشکی با روش بمباران نوترونی ایجاد میشوند:

^{131}I ^{99}Mo ^{133}Xe ^{137}Cs

سوال : اگر از شکاف ^{235}U در اثر بمباران نوترونی $^{131}_{53}I$ ایجاد شود،نوکلئید دیگر چیست؟

2) واپاشی آلفا :

اگر هسته ی اتم،عدد اتمی بالای **82** باشد،به طور خود به خودی میتواند یک ذره ی آلفا بصورت **2p , 2n** (هسته ی هلیوم) خارج شود. وقتی این اتفاق نیوفتد،خواهیم داشت :



$$^{A}_{Z}P_{N} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}D_{N-2} + {}^{4}_{2}\alpha^{+2} + E$$

انرژی جنبشی این ذره ی آلفا بسیار زیاد،در حدود **4** تا **8** Mev است. اورانیوم **235** هم میتواند شکافت داشته باشد و هم میتواند واپاشی α داشته باشد و هر دو حالت امکان پذیر است.

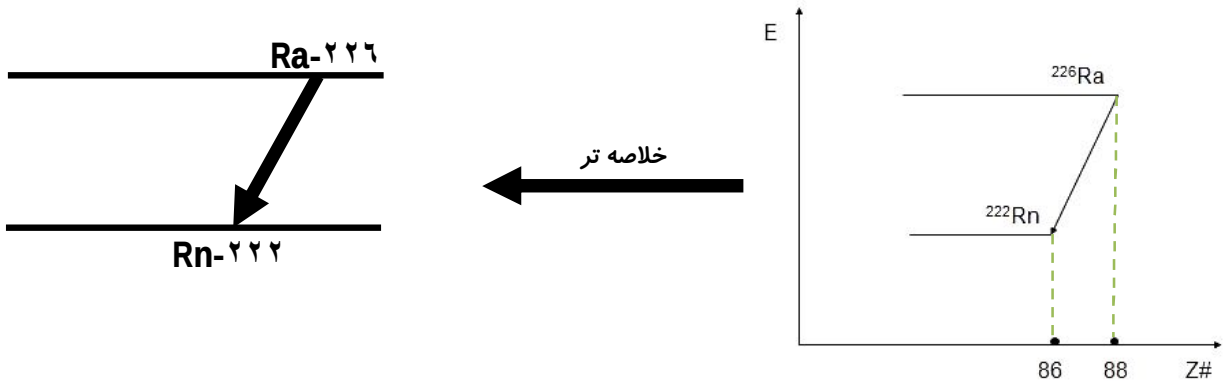
ذرات α همیشه مونوانرژتیک هستند،یعنی از واپاشی هسته ی مشخص همواره ذره ی α با انرژی مشخصی ایجاد میشود. ذرات α برد کمی دارند و در آب در حد cm و در بافت در حد ماکرو متر حرکت می کنند. توجه داشته باشیم که مقدار انرژی ذرات α به قدری زیاد است که می تواند تخریب بافتی بسیار زیادی ایجاد کند. برای همین قابلیت خوبی برای از بین بردن ذرات سرطانی دارد.

مثالی از واپاشی α :

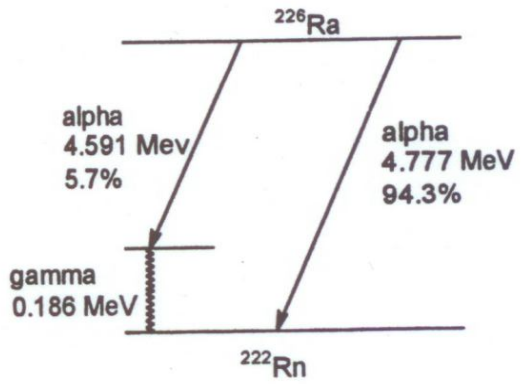
$$^{241}Am \longrightarrow {}^{237}Np + {}^{4}_{2}\alpha$$

منحنی انرژی واپاشی α :

برای واپاشی α منحنی انرژی رسم میشود.این منحنی ها را به صورت زیر نمایش می دهند.



در واقع چون در نمودار , عدد اتمی کاهش پیدا کردجهت پیکان بصورت کج رسم شده است.



Radium-226 transformation scheme.

برخی از رادیو نوکلئیدها حالت pure α-emitter دارند یعنی فقط ذره ی آلفا را واپاشی می کنند و چیز دیگری ایجاد نمی کنند.اما درصد دیگری هم از رادیو نوکلئیدها وجود دارند که تنها با خروج یک ذره ی α به حالت پایه ی خود نمیرسند و علاوه بر پرتو آلفا، با تابش پرتوهای گاما نیزبه حالت پایه ی خود میرسند.

مثالهایی از واپاشی آلفا:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha_2$$

$$^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}\alpha_2$$

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}\alpha_2$$

$$^{252}_{98}Cf \longrightarrow {}^{248}_{96}Cm + {}^{4}_{2}\alpha_2$$