ساختار هسته

هسته از پروتون و نوترون تشکیل شده است که به طور کلی به آنها نوکلئون می‌گویند. نوکلئون خنثی بوده و جرم آن اندکی بیشتر از پروتون است. جرم اتم ها و همچنین اجزای اتم را، علاوه بر کیلوگرم، با یکای جرم اتم هم بیان می‌کنند.

یکای جرم اتم (u): $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ۱۲ را گویند که با amu یا u نشان می دهند. بنا به این تعریف جرم اتم کربن ۱۲ برابر ۱۲u است.

تعداد پروتون های هسته را عدد اتمی می گویند و با Z نشان می دهند که در عناصر مختلف متفاوت است. در یک اتم خنثی تعداد پروتون ها با الکترون های اطراف هسته برابر است. تعداد نوترون ها را با N نشان داده و مجموع نوترون و پروتون را که عدد جرمی گویند با A نشان می دهند.

$$A = Z + N$$

برای عنصری با نماد شیمیایی X، هسته را به صورت زیر نشان می دهند:

عدد جرمی A
عدد اتمی Z X عدد نوترونی N

ایزوتوپ ها: عناصری با تعداد پروتون یکسان و تعداد نوترون های متفاوت را ایزوتوپ می‌گویند. ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و تعداد نوترون های آن تعیین می‌کند. ولی ویژگی های اتم به تعداد پروتون‌ها (الکترون ها) بستگی دارد. بنابراین ایزوتوپ ها خواص هسته‌ای متفاوت ولی خواص شیمیایی یکسان دارند.

بجز هیدروژن ایزوتوپ های هر عنصر را با نام همان عنصر مشخص می کنند.

$${}_{۱}^{۱}H\ ,\ {}_{۱}^{۲}D\ ,\ {}_{۱}^{۳}T$$

$${}^{۱۲}C\ ,\ {}^{۱۳}C\ ,\ {}^{۱۴}C$$

$${}^{۲۳۵}U\ ,\ {}^{۲۳۸}U$$

- ❖ در برخی عناصر ایزوتوپ های سنگین تر و در برخی عناصر ایزوتوپ های سبک تر میزان فراوانی بیشتری در طبیعت دارند.

پایداری هسته

می دانیم ابعاد هسته بسیار کوچکتر از ابعاد اتم می باشد (شعاع هسته $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ شعاع اتم است). با این وجود بیشتر جرم اتم (۹۹/۹ درصد) در هسته متمرکز شده است. سوالی که مطرح است این است که چرا ذرات بسیار زیادی با بار مثبت در هسته کنار هم گرد آمده اند؟

نیروهای موجود در هسته

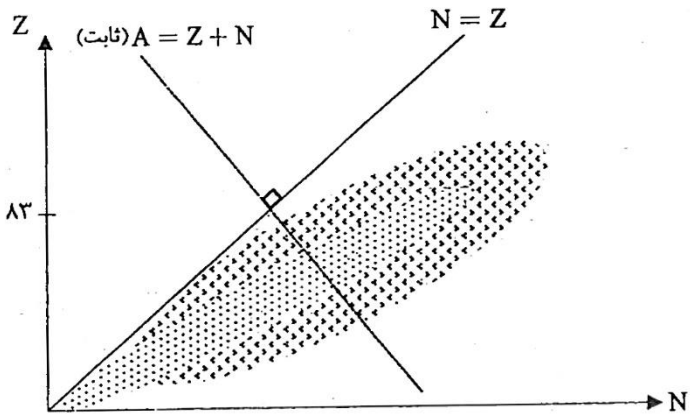
۱- نیروی کولنی: فقط بین پروتون‌ها بوده و از جنس دافعه می باشد.

۲- نیروی گرانشی: بین تمام نوکلئون ها بوده ولی بسیار ضعیف تر از نیروی کلونی است.

۳- نیروی هسته‌ای: بسیار قوی بوده و کوتاه برد است و بین تمام نوکلئون‌های مجاور نیروی جاذبه هسته‌ای وجود دارد. از نظر نیروی هسته‌ای فرق بین نوترون و پروتون وجود ندارد. یعنی نیروی جاذبه بین «n-n» و «n-p» و «p-p» یکسان می باشد. به همین دلیل آنها را نوکلئون گویند.

به دلیل کوتاه برد بودن نیروی هسته‌ای، در هسته های بزرگ، نیروی جاذبه بین پروتون های دورتر وجود نداشته و تحت تاثیر نیروی دافعه الکتریکی هسته تمایل به واپاشی دارد و برای پایداری نیاز به تعداد نوترون بیشتر از پروتون می باشد.

نمودار زیر در هسته های پایدار و پرتوزایی عناصر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در هسته های سبک برای پایداری $N=Z$ و در هسته های سنگین تر برای پایداری $N>Z$ می باشد.



نکات:

۱) هسته پایدار با بیشترین تعداد پروتون مربوط به بیسموت ($Z=۸۳$)

۲) به جز توریوم و اورانیوم که در طبیعت یافت می شوند سایر هسته ها با «$Z>۸۳$» ناپایدارند؛ این دو عنصر به دلیل واپاشی کندی که دارند هنوز مقدار زیادی از آن‌ها روی کره زمین وجود دارد.

۳) ایزوتوپ های یک عنصر همگی روی یک خط افقی می باشند.

۴) ضربدر ها نشان دهنده هسته های پرتوزا می‌باشند و نقاط مربوط به هسته‌های پایدار

انرژی بستگی هسته

اندازه‌گیری‌های دقیق هسته نشان می‌دهد که «جرم هسته» از «مجموع جرم ذرات هسته» کمتر است و این اختلاف جرم طبق رابطه زیر به انرژی تبدیل می گردد و ذرات هسته را در کنار هم نگاه می دارد و باعث پایداری هسته می شود.

$E = mc^2$ ← انرژی بوجود آمده (j)

c → سرعت نور در خلأ $(۳\times۱۰^۸ \frac{m}{s})$

m ↓ جرم ناپدید شده

تست ۱: اگر در یک واکنش هسته‌ای ۴ گرم جرم به انرژی تبدیل شود، انرژی حاصل، چند لامپ ۱۰۰ واتی را به مدت ۲۰ ساعت می‌تواند روشن کند؟$(۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s})$

۱) ۵×۱۰^۳ ۲) ۵×۱۰^۴ ۳) ۵×۱۰^۶ ۴) ۵×۱۰^۷

تست ۲: هرچه اختلاف جرم هسته با مجموع ذرات ..... باشد، انرژی بستگی هسته ..... و هسته ..... است.

۱) بیشتر-بیشتر-ناپایدارتر ۲)کمتر-بیشتر-پایدارتر

۳) بیشتر-کمتر-ناپایدارتر ۴) بیشتر-بیشتر-پایدارتر

همانطور که در تشکیل هسته بخشی از جرم کم شده و به انرژی بستگی هسته تبدیل می شود برای آن است که ذرات هسته را از هم جدا کنیم باید همان میزان انرژی را دوباره به سطح بدهیم تا به جرم تبدیل گردد و هسته به نوکلئون های تشکیل دهنده تقسیم گردد. بنابراین در برهم کنش های هسته‌ای مجموعه جرم و انرژی ثابت می‌ماند.

تراز های انرژی هسته

همانطور که الکترون وابسته به اتم هر انرژی را نمی‌تواند اختیار کند و انرژی آن‌ها کوانتیده است، نوکلئون های موجود در هسته هم دارای انرژی‌های مشخص و کوانتیده می باشند. همانطور که الکترون با کسب انرژی از ترازی به تراز بالاتر رفته و با گسیل انرژی سطح انرژی‌اش پایین می آید، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب و گسیل انرژی تراز خودشان را تغییر دهند. در اینجا نیز انرژی فوتون گسیل شده دقیقاً برابر با انرژی تراز برانگیخته و تراز پایه است. هسته برانگیخته را با نماد «*» روی $^A_Z X$ به صورت $^A_Z X^*$ نشان می دهند.

از مقایسه اختلاف ترازهای انرژی بین نوکلئون ها و اختلاف تراز انرژی الکترون ها در میابیم که:

اختلاف ترازهای انرژی الکترون‌ها (از مرتبه ev)

اختلاف ترازهای انرژی نوکلئون ها (از مرتبه kev تا Mev)

از اینرو هسته‌ها در واکنشهای شیمیایی برانگیخته نمی شود.

پرتوزایی طبیعی:

وقتی یک هسته ناپایدار یا پرتوزا به طور طبیعی، واپاشی کند، نوع معینی از ذرات یافتن های پر انرژی آزاد می شود.

در پرتوزایی طبیعی ۳ نوع پرتو ایجاد می‌شود:

پرتو (α): کمترین نفوذ را دارد و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز ۰/۰۱mm جذب می شوند.

پرتو (β): مسافت بیشتری را در سرب نفوذ می‌کنند. (۰/۱mm)

پرتو (γ): بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورق سربی به ضخامت قابل‌ملاحظه‌ای (۱۰۰mm) بگذرند.

الف- واپاشی(α): این نوع واپاشی در هسته های سنگین صورت می‌پذیرد. ذره α دارای بار مثبت و از جنس هسته هلیوم ($^{4}_{2}He$) می باشند و ۲ پروتون و ۲ نوترون دارند.

واپاشی α به صورت زیر بیان می شود:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

هسته X را هسته مادر و هسته Y را هسته دختر گویند.

ذره های α سنگین و دارای برد کوتاهی می باشند و پس از مسافتی کوتاه در هوا (۱ تا ۲ سانتی متر) یا با عبور از لایه‌ای نازک از مواد جذب می شوند. اگر از راه تنفس وارد بدن شوند باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن می شوند.

ب- واپاشی (β): متداولترین نوع واپاشی در هسته هاست و این واپاشی به دو صورت β^+ و β^- صورت می‌گیرد. در واپاشی β^- از هسته اتم یک الکترون گسیل می شود و این در حالی صورت می‌گیرد که «یک نوترون و پروتون و الکترون تبدیل می‌شود».

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

در مورد دیگر واپاشیβ که β^+ می باشد زرهی دقیقاً هم جرم با الکترون و دارای بار مثبت گسیل می شود که به آن پوزیترون (e^+) گویند. چیزی که در این واپاشی رخ می دهد «تبدیل یک پروتون و نوترون و پوزیترون» می باشد.

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

نکته: در واپاشی β^- هسته دختر، عنصری بعد از هسته مادر است و در واپاشی β^+ هسته دختر، عنصری قبل از هسته مادر در جدول تناوبی می‌باشد.

ج- واپاشی (γ): اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا و بتا، به حالت برانگیخته بوده و با گسیل فوتون های پر انرژی γ به حالت پایه می‌روند. پرتو γ جرم و بار الکتریکی ندارد و در میدان الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی شود.

$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + {}^{0}_{0}\gamma^{+}$$

تست ۳: در واکنش هسته زیر Y کدام است؟

$$^{10}_{5}X \rightarrow 2\alpha + 3e^{-} + 4e^{+} + Y$$

۱) $^{96}_{45}Y$ ۲) $^{96}_{47}Y$ ۳) $^{92}_{45}Y$ ۴) $^{92}_{47}Y$

تست ۴: در واکنش روبرو جای خالی با کدام گزینه پر می‌شود؟

$$^{۲۳۸}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۲۳}_{۹۰}Th + \cdots$$

۱) $\alpha+\beta^-$ ۲) $۲\alpha+۲\beta^-$ ۳) $\alpha+۲\beta^-$ ۴) ۲α

تست ۵: هسته‌ای در تابش های پی در پی به ایزوتوپ دیگر خود با ۸ نوترون کمتر تبدیل شده است. در این واکنش چند ذره α و چند ذره β^- تابش شده است؟

۱) ۲ و ۴ ۲) ۴ و ۴ ۳) ۲ و ۸ ۴) ۴ و ۲

تست ۶: اگر یک ذره α و یک الکترون و یک پروتون در میدان الکتریکی قرار گیرند، درباره شتاب حرکت آنها کدام گزینه درست است؟

۱) $a_e=a_p>a_\alpha$ ۲) $a_e=a_p<a_\alpha$ ۳) $a_e>a_p>a_\alpha$ ۴) $a_e<a_p<a_\alpha$

نیمه عمر $(T_{۱/۲})$:

مدت زمانی که طول می‌کشد تا تعداد هسته های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند. اگر تعداد هسته های اولیه N_0 و تعداد هسته های مانده پس از گذشت زمان t برابر N باشد داریم:

$$N = \frac{N_0}{۲^{\left[\frac{t}{T_{۱/۲}}\right]}}$$

تمرین ۱: از ۱۲gr از یک ماده پرتوزا پس از ۱۸ روز تنها ۱/۵gr تجزیه نشده باقی می‌ماند؛ نیمه عمر آن عنصر چند روز است؟

تست ۷: نیمه عمر یک ماده پرتوزا ۵ شبانه‌روز است. اگر پس از ۲۰ شبانه روز ۷۵gr آن متلاشی شود، پس از چند شبانه روز تنها ۲/۵gr از آن باقی می‌ماند؟

۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

در واکنش فوق اورانیوم پس از جذب یک نوترون شروع به ارتعاش کرده و این ارتعاش تا زمانی ادامه می‌یابد که نیروی جاذبه هسته‌ای دیگر نتواند با دافعه الکتریکی متوازن شود و در این لحظه هسته مرکب واپاشیده می شود.

هسته مرکب در زمان 10^{-12} ثانیه واپاشیده شده که اگر محصولات واکنش باریم و کریپتون باشد، ۳ نوترون نیز به وجود آمده که به دلیل خنثی بودن از دیگر هسته‌ها دفع نمی شود و پس از کند شدن جذب هسته های دیگر شده و باعث ۳ شکافت دیگر می‌شود و ۹ نوترون آزاد می‌شود و ..... این رشته واکنش را، واکنش زنجیری گویند.

در واکنش‌های شکافت جرم محصولات از جرم هسته اولیه و نوترون کمتر است و این اختلاف جرم به انرژی ($E=mc^2$) تبدیل می شود که عمدتاً به صورت انرژی جنبشی است.

دلیل اینکه واکنش زنجیری در معادن رخ می‌دهد درصد بسیار کم ^{235}U در بین ایزوتوپ های اورانیم ^{238}U است. زیرا ^{238}U به راحتی شکافته نمی شود.

غنی سازی اورانیوم:

به فرایند افزایش درصد یا غلظت ^{235}U در یک نمونه از اورانیوم، غنی‌سازی گویند. برای استفاده از اورانیوم در سوخت هسته‌ای (تا ۳ درصد) و برای استفاده در انفجارهای هسته‌ای (تا ۲۰ درصد) مثل راکتورهای پژوهشی باید درصد ^{235}U را در یک نمونه بالا برد.

راکتورهای شکافت هسته‌ای:

نوترون های آزاد شده در فرآیند شکاف، دارای انرژی جنبشی بسیار زیاد بوده و به نوترون تند معروف می باشند. این نوترون‌ها به احتمال زیاد جذب ^{238}U می‌شوند. بنابراین باید آنها را کُند ساخت و احتمال جذب آنها توسط ^{235}U بالا رود و این افزایش احتمال، باعث ایجاد واکنش زنجیری گردد.

برای کند کردن نوترون ها از آب معمولی (H_2O) آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) استفاده می‌شود و به آن‌ها کندسازی گویند.

سوخت هسته‌ای را با میله هایی با قطر ۱cm و با تعداد بسیار زیاد (هزاران عدد) را وارد قلب راکتور می کنند.

طرحواره‌ای از یک نیروگاه هسته‌ای در زیر رسم شده است: