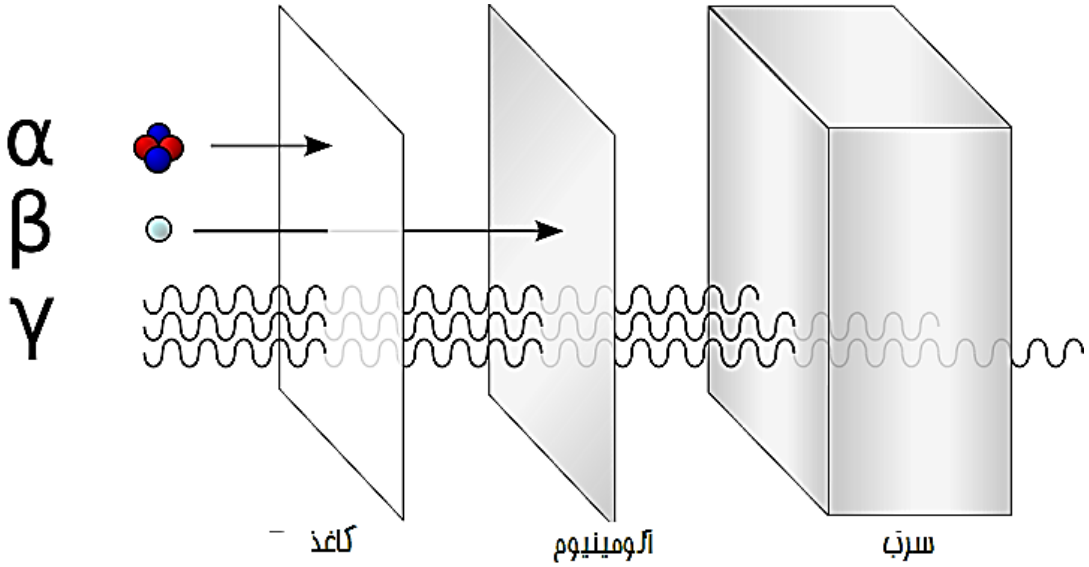
وقتی یک هسته اتم ناپایدار یا پرتوزا به طور طبیعی یا خود به خودی واپاشی کند، به هسته های کوچکتر و پایدارتر تبدیل می شود. طی این فرایند جرم مجموع هسته ها پس از فرآیند، اندکی کمتر از جرم هسته قبل از واپاشی است. این اختلاف جرم به صورت ذرات یا فوتون های پر انرژی آزاد می شود. این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می‌شود.

انواع پرتوزایی طبیعی

در پرتو زایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود : پرتوهای آلفا، پرتوهای بتا و پرتوهای گاما.

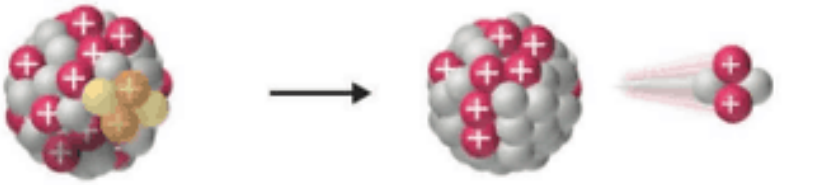
پرتوهای آلفا کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز (تقریبا 0.01 میلی متر) متوقف می شوند در حالی که پرتوهای بتا مسافت خیلی بیشتری (تقریبا 0.1 میلی متر) را در سرب نفوذ می‌کنند. پرتوهای گاما بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورق های سربی به ضخامت قابل ملاحظه (تقریبا 100 میلی متر) بگذرند.

در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون ها در طی فرایند واپاشی هسته ای پایسته است. یعنی تعداد نوکلئون های قبل از واپاشی با تعداد نوکلئون ها بعد از واپاشی مساوی است.



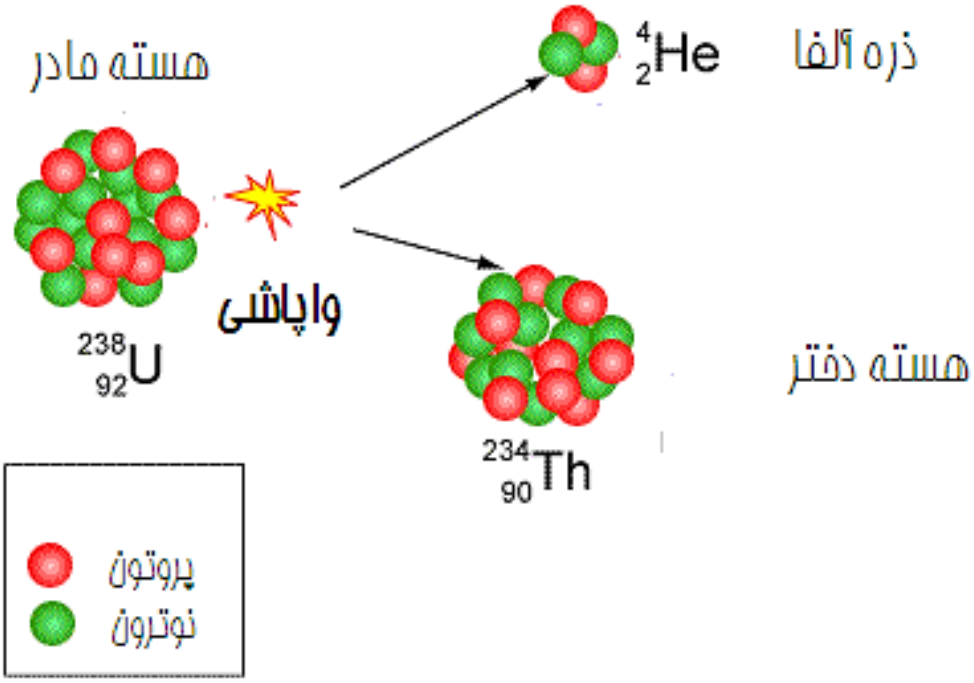
واپاشی آلفا

در این نوع واپاشی که در هسته های سنگین اتفاق می افتد، هسته با گسیل ذره α واپاشی می کند. ذرات آلفا پایدار هستند و جنس هسته اتم هلیوم ^4_2He هستند که دارای دو پروتون و دو نوترون است و دو بار الکتریکی مثبت دارد. واپاشی آلفا به صورت زیر است:

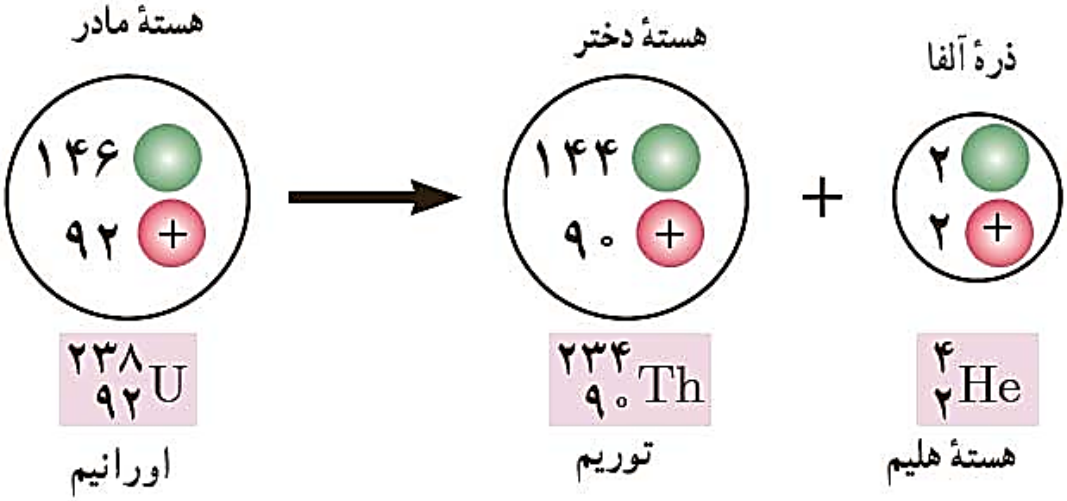


$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

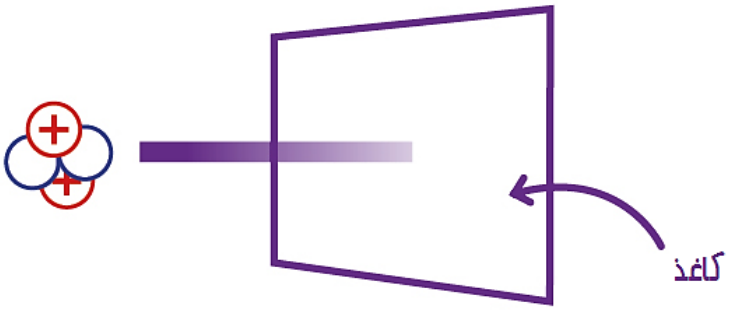
در این رابطه X هسته مادر و Y هسته دختر نامیده می شود. عدد اتمی هسته دختر 2 عدد و عدد جرمی هسته دختر 4 عدد از عدد اتمی و جرمی هسته مادر کمتر است.
شکل زیر مثالی از واپاشی آلفا برای اورانیوم 238 را نشان می دهد که به طور طبیعی رخ می دهد.



معادله این واپاشی به صورت زیر است:



ذره های آلفا سنگین هستند و بار مثبت دارند. برد این ذره ها کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا و یا با عبور از لایه ای نازک از مواد جذب می شوند.

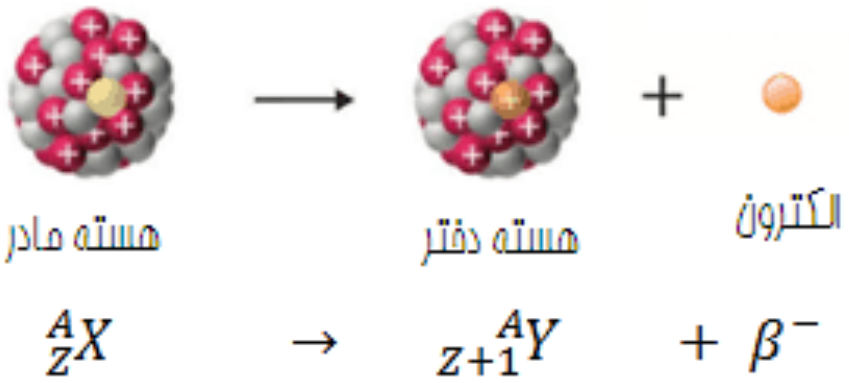


اگر این ذره ها از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند باعث آسیب جدی به بافت‌های بدن می‌شود. بنابراین باید مراقب بود که مواد آلفازا وارد بدن نشود.
از واپاشی آلفا در آشکارساز های دود و اعلام خطر در منازل و ساختمان ها استفاده می شود.

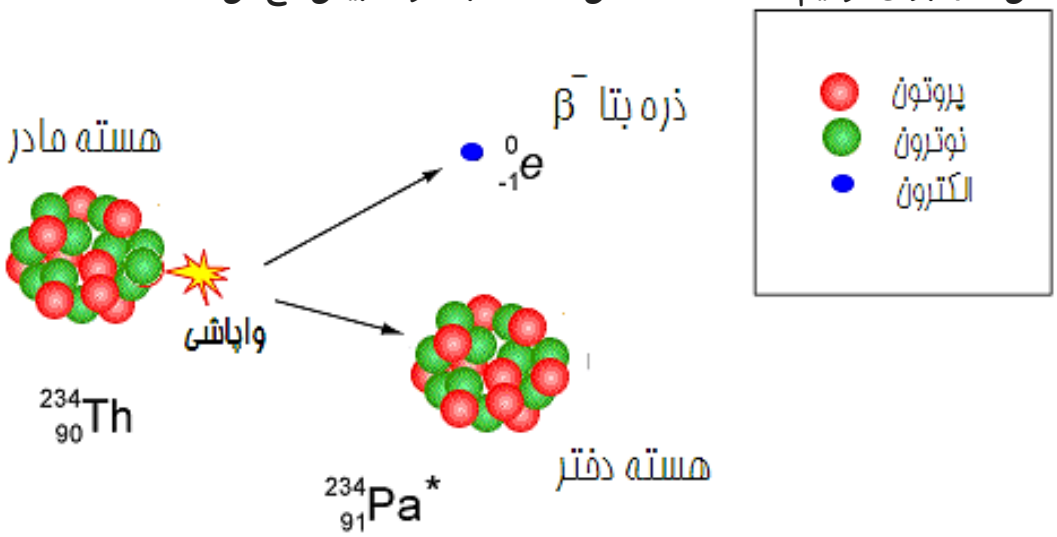
واپاشی بتا

متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته ها است و ذرات گسیل شده در این واپاشی را ذرات β می نامند. این ذرات الکترون اند و به همین دلیل این واپاشی را واپاشی (β^-) نامیدند. الکترونی که در این واپاشی گسیل می شود، در هسته مادر وجود ندارد و همچنین یکی از الکترون های مداری اتم هم نیست .این الکترون وقتی به وجود می‌آید که نوترونی درون هسته به پروتون و الکترون تبدیل شود. فرایند واپاشی به صورت زیر بیان می شود.

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



البته در این واپاشی ذره ای به نام پادنوترینو نیز بوجود می آید که از نوشتن آن صرف نظر کردیم.
شکل زیر واپاشی (β^-) برای توریم 234 را نشان می دهد که به طور طبیعی رخ می دهد.

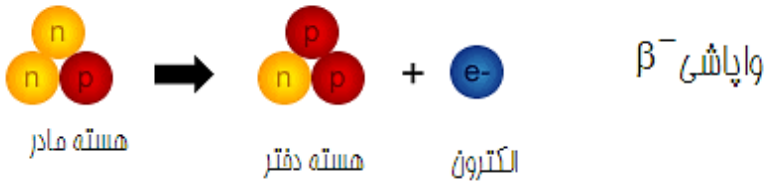


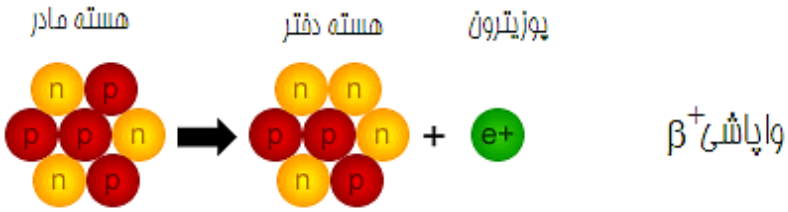
در نوعی دیگر از فرایند واپاشی بتا ذره گسیل شده توسط هسته جرم یکسان با الکترون دارد ولی به جای بارe^- بار e^+دارد. به این الکترون مثبت، پوزیترون میگویند و با (β^+) یا (e^+) نمایش می دهند. در واقع آنچه از واپاشی رخ می دهد این است که یکی از پروتون های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود و سپس این پوزیترون از هسته گسیل می شود. فرایند واپاشی به صورت زیر است:

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

البته در این واپاشی ذره ای به نام نوترینو نیز بوجود می آید که از نوشتن آن صرف نظر کردیم.

در شکل زیر می توانید تفاوت این دو واپاشی را مشاهده کنید.

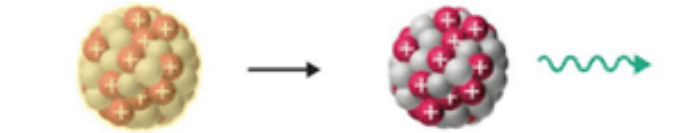




واپاشی گاما

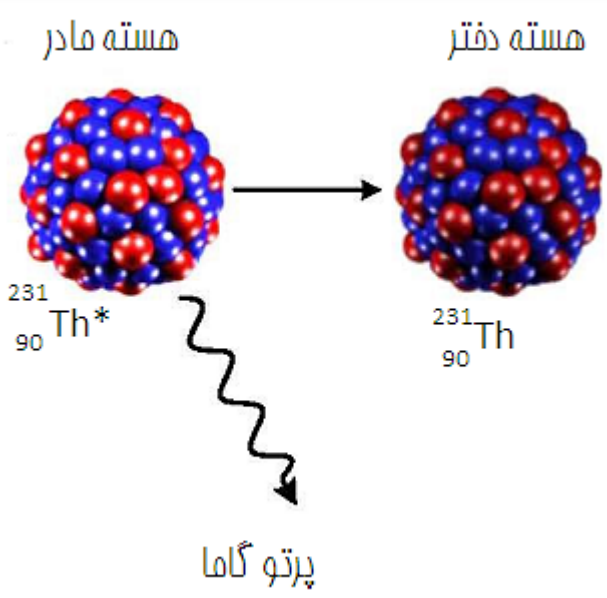
اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا در حالت برانگیخته قرار می گیرند و با گسیل فوتون های پر انرژی یعنی پرتوهای گاما به حالت پایه میرسند. در این فرایند A و Z تغییر نمی کنند بلکه هسته برانگیخته که با علامت * مشخص شده است با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسد. واپاشی گاما به صورت زیر بیان می شود.

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma \qquad \text{واپاشی } \gamma $$



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

در شکل زیر هسته برانگیخته توریم با واپاشی گاما به حالت پایه می رود.



از پرتوهای گاما در جراحی غده های خوشخیم و سرطانی و همچنین رفع نقص ها در رگ های خونی استفاده می شود.

تمرین های زیر با این نکته که تعداد پروتون ها و نوترون ها در دو طرف واکنش پایسته می مانند، حل کنید.

تمرین ها

تمرین 1: یک هسته آمرسیم (241) ، با تابش یک ذره آلفا واپاشیده شده و به یک ایزوتوپ نپتونیم طبق رابطه زیر تبدیل می شود. تعدا نوترونهای این ایزوتوپ چقدر است؟

$$^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{237}_{z}Np + \alpha$$

حل: با توجه به پایسته بودن تعداد پروتون ها و نوترون ها در دو طرف واکنش داریم:

$$95 = Z + 2 \quad \rightarrow Z = 93$$

$$N = A - Z = 237 - 93 = 144$$

ایزوتوپ نیوتونیم 144 نوترون دارد.

تمرین 2: اگر هسته عنصر لیتیم (Z=3, A=8) یک پرتو آلفا و همزمان یک ذره بتا (الکترون) گسیل کند، به چه عنصری تبدیل می شود.

حل : واکنش این واپاشی به صورت زیر می شود.

$$^{8}_{3}Li \rightarrow \ {}^{4}_{2}X + \ {}^{4}_{2}\alpha + \ {}^{0}_{-1}\beta$$

که این عنصر هلیم است.

تمرین 3: جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر پر کنید.

الف) $^{211}_{82}Pb \rightarrow {}^{211}_{82}Bi + \cdots$

ب) $^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + \cdots$

پ) $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + \cdots$

ت) $^{231}_{90}Th^{*} \rightarrow {}^{231}_{90}Th + \cdots$

پاسخ :

الف) $^{211}_{82}Pb \rightarrow {}^{211}_{83}Bi + \ {}^{0}_{-1}\beta$

ب) $^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}\beta$

پ) $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$

ت) $^{231}_{90}Th^{*} \rightarrow {}^{231}_{90}Th + \gamma$

تمرین 4: در واکنش هسته ای زیر مقدار N و M را بدست آورید.

$$^{۲۰۷}_{۸۲}\mathrm{X} \rightarrow {}^{۱۹۷}_{۷۹}\mathrm{Y} + \mathrm{N}(\alpha) + \mathrm{M}(\beta^{-}) + ۲\ (\text{نوترون})$$

حل: N و M پشت آلفا و بتا در مقادیر پروتون و عدد جرمی آنها ضرب می شوند.

$$82 = 79 + 2N - M + 0 \rightarrow 2N - M = 3$$

$$207 = 197 + 4N + 0 + 2 \rightarrow 4N = 8$$

$$N = 2 \quad M = 1$$

تمرین 5: در واکنش زیر تعداد نوکلئون های Y چقدر است؟

$$^{۲۳۷}_{۹۲}\mathrm{X} \rightarrow \mathrm{Y} + ۳\alpha + \beta^{-}$$

حل : تعداد نوکلئون ها جمع پروتون ها و نوترون های هسته است که برابر عدد جرمی است.

$$92 = Z + 3 \times 2 - 1 \rightarrow Z = 87$$

$$237 = A + 3 \times 4 + 0 \rightarrow A = 225$$