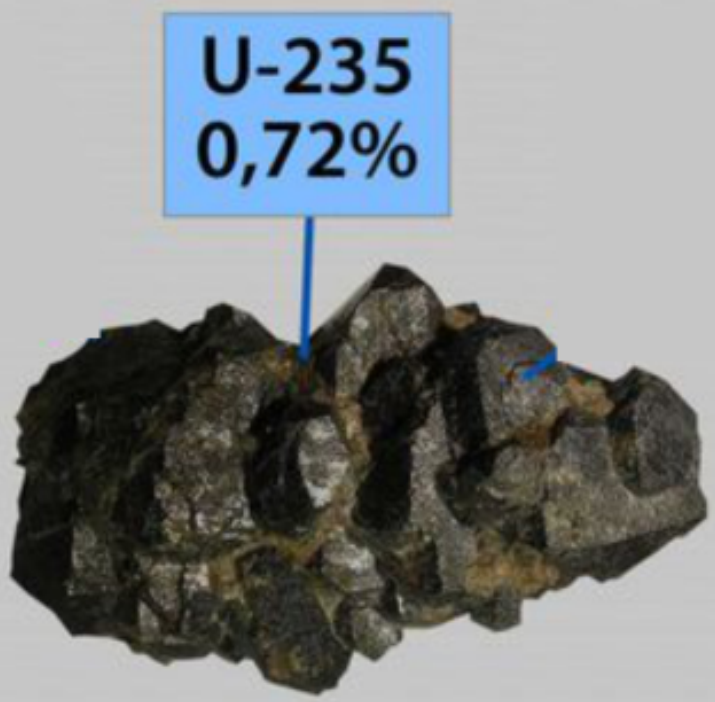
منبع نامحدود برقِ هسته ای

غنی سازی اورانیوم ۲۳۵



نویسنده : دکتر افشین رشید

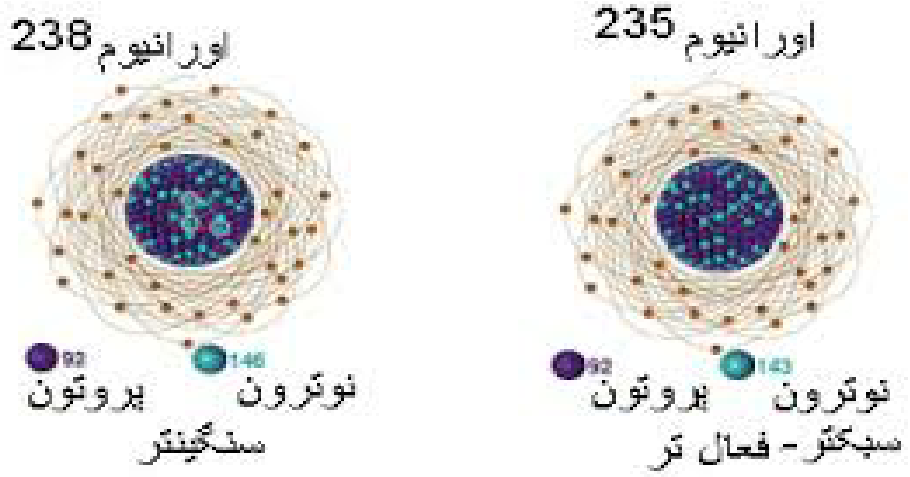
نویسنده : افشین رشید
سطح علمی نویسنده : دکترای نانو _ میکرو الکترونیک
تارنما : www.electronic-tarfand.blog.ir
پست الکترونیک : nanoelectronic.rashid@gmail.com

پیشگفتار نویسنده کتاب دکتر افشین رشید

در ستایش علم الکترونیک همین بس که کاربردی ترین علوم در جوامع میباشد . و از یاد نبریم نانو _میکرو الکترونیک برترین گرایش علوم الکترونیک و کلید دستیابی به یک فناوری برتر در نیمه ی سَده پیش رو میباشد. شاید باور کردنی نباشد اما تغییر در حجم و بازطراحی مدار های الکترونیکی و مخابراتی بر پایه علوم نانو الکترونیک میتواند تا چند برابر کارایی و قدرت این عناصر الکترونیکی افزایش دهد. و از نظر پیشرفت علمی دست با تر در صنایع دریایی ؛ نظامی ؛ پزشکی ؛ الکترونیکی ؛ مخابراتی _ارتباطی ؛ به ارمغان آورد .

اورانیوم با غنای پایین» که میزان ^{235}U آن کم تر از ۲۰٪ ولی بیشتر از ۰/۷٪ است. سوخت بیشتر نیروگاه های هسته‌ای بین ۳ تا ۵ درصد ^{235}U است.«اورانیوم با غنای بالا» که ^{235}U در آن بیشتر از ۲۰٪ و حتی در مواردی بیش از ۹۸٪ است‌ایزوتوپ های پرتوزا یا رادیواکتیو را ایزوتوپ های ناپایدار هم می گویند. در این گونه از ایزوتوپ هسته به صورت پرتوی آلفا، بتا، گیر اندازی الکترون و... واپاشی می شود و به حالتهای پایدارتری از انرژی می رسد. این نوع ایزوتوپ ها با اینکه ریسک پذیر هستند، اما در زندگی کاربرد های مفیدی دارند.در سنگ معدن استخراج شده، اورانیوم طی فرایندهای مکانیکی و شیمیایی از دیگر عناصر جدا می‌شود؛ به این ترتیب که سنگ معدن اورانیوم ابتدا در دستگاه های مخصوصی خرد و آسیاب می‌گردد، سپس طی یک فرآیند شیمیایی شامل حل کردن در اسید، خالص‌سازی می‌شود و بصورت یک حالت جامد به

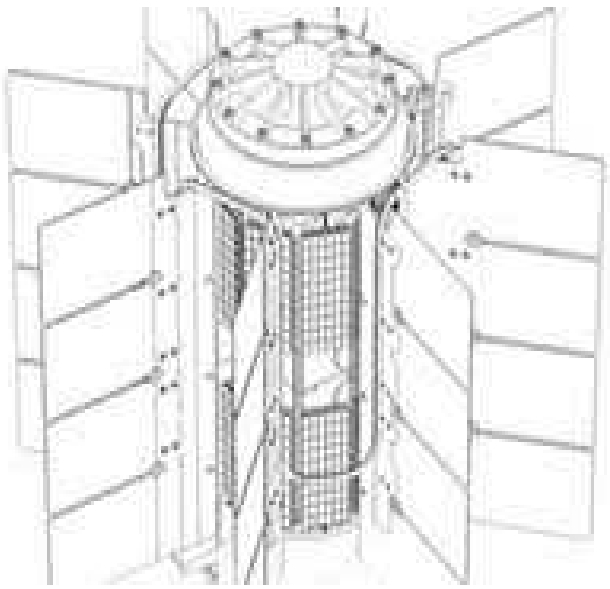
هم پیوسته درمی‌آید، که آن را کیک زرد (U3O8) می‌نامند. کیک زرد شامل ۷۰٪ اورانیوم بوده و دارای خواص رادیواکتیو یا پرتوزایی است. کیک زرد جامد است، ولی در مرحله بعد (غنی سازی) از تکنولوژی وی‌ژه‌ای استفاده می‌شود که نیازمند حالت گازی است. بنابراین برای تبدیل کنسانتره اکسید اورانیوم جامد (U3O8) به گاز اورانیوم هگزافلوراید (UF6)، مراحل زیر صورت می‌گیرد:



ابتدا روی کیک زرد کنترل کیفیت اندازه ذرات کنسانتره و سیالیت آن انجام می‌شود. سپس جهت تولید پودر UO2 از کیک زرد (U3O8) عملیات برخورد،

استخراج، رسوب گیری UC9 و احیاء انجام می شود و برای تبدیل UO2 به UF6 (نمک سبز) با فلوئوریک اسید (HF) آن را ترکیب می کنند تا UF4 به دست آید. سپس UF4 را با گاز فلوئور (9F) فلوریناسیون می‌کنند تا در نهایت اورانیوم هگزافلوراید (UF6) به دست آید، که خوراک دستگاه سانتریفوژ گازی است و در آنجا غنی سازی می‌شود.ابتدا روی کیک زرد کنترل کیفیت اندازه ذرات کنسانتره و سیالیت آن انجام می‌شود. سپس جهت تولید پودر UO2 از کیک زرد (U3O8) عملیات خروج، استخراج، رسوب گیری UC9 و احیاء انجام می‌شود و برای تبدیل UO2 به UF6 (نمک سبز) با فلوئوریک اسید (HF) آن را ترکیب می کنند تا UF4 به دست آید. سپس UF4 را با گاز فلوئور (9F) فلوریناسیون می‌کنند تا در نهایت اورانیوم هگزافلوراید (UF6) به دست آید، که خوراک دستگاه سانتریفوژ گازی است و در آنجا غنی سازی می‌شود.سانتریفیوژ گردش سریع سیلندر، نیروی گریز

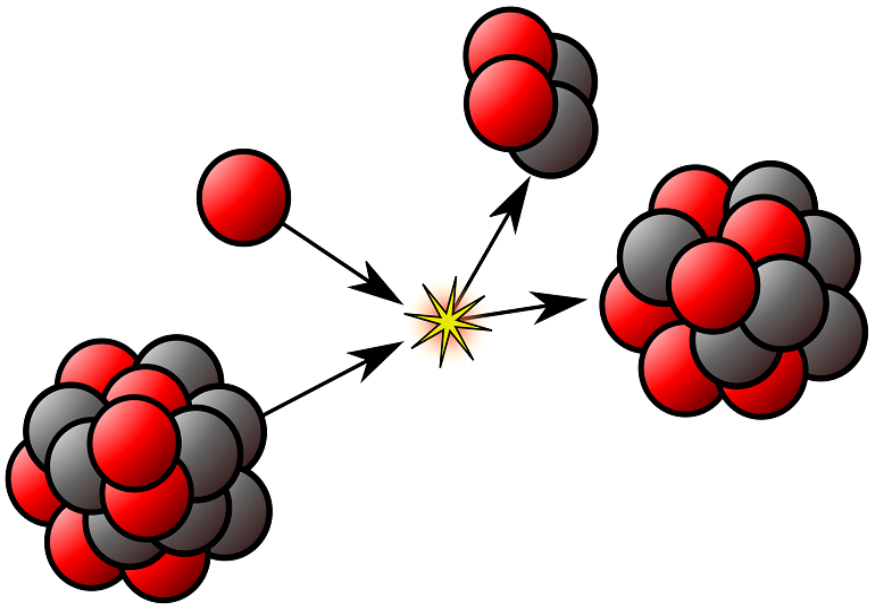
از مرکز بسیار قوی تولید می‌کند و طی آن مولکولهای سنگینتر (آنهایی که شامل ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۸ هستند) از مرکز محور گردش دورتر می‌گردند و برعکس آن‌ها که مولکولهای سبکتری دارند (حاوی ایزوتوپ (اورانیوم ۲۳۵) بیشتر حول محور سانتریفیوژ قرار می‌گیرند. در غنی سازی اورانیوم با روش سانتریفوژ گازی، از تعداد زیادی سیلندر دوار که به صورت موازی و سری کنارهم قرار داده شده اند استفاده می شود.



سانتریفیوژ دستگاه استوانه‌ای شکلی است که درست مثل توربین هواپیما پره هایی در وسط آن

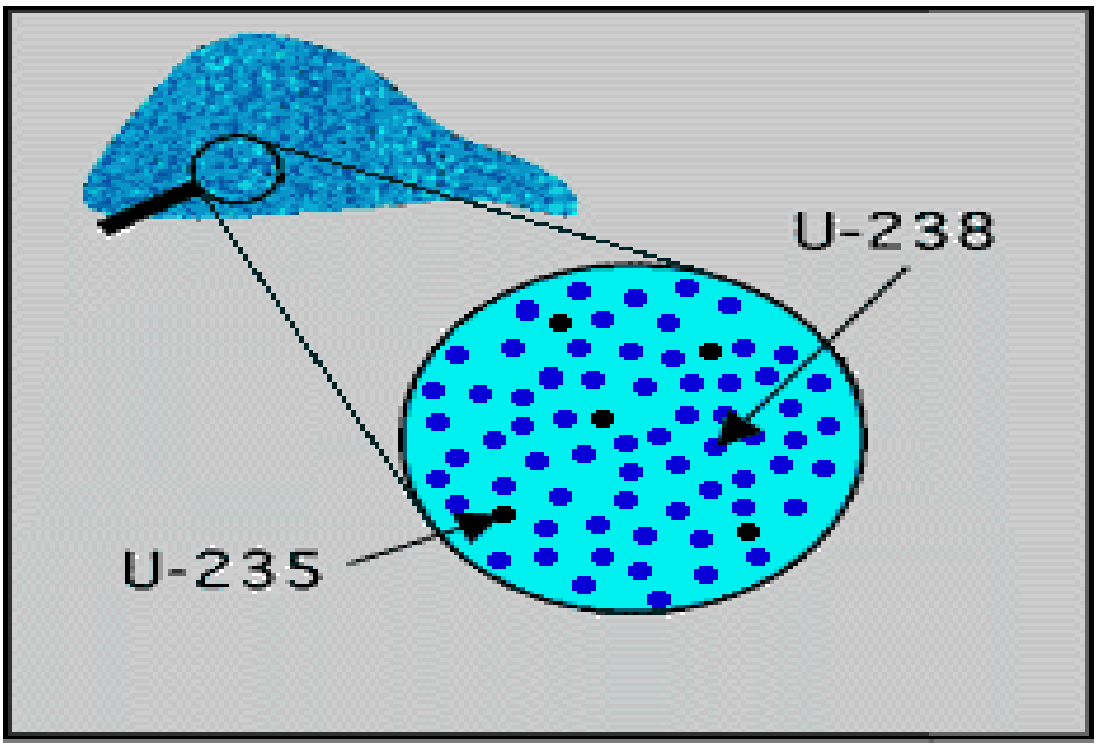
وجود دارد این پره‌ها در هر دقیقه بیش از یک صد هزار گردش دارند در نتیجه این چرخش اورانیوم سنگین روی دیواره آخری سانتریفیوژ قرار می‌گیرد و اورانیوم سبک در کنار آن می‌نشیند باید هزاران سانتریفیوژ در کنار هم قرار بگیرند تا ما بتوانیم اورانیوم را غنی کنیم یعنی با یک یا چند سانتریفیوژ نمی‌توان اورانیوم را غنی کرد.کار جداسازی» یا سو-Separative work unit- میزان جداسازی که در یک فرایند غنی‌سازی را گویند که تابعی از غلظت مادهٔ غنی نشده، غنی شده و تفاله است و با واحدهایی متناسب با ورودی کل (انرژی/ زمان عملکرد ماشین) و جرم بیان می‌شود. کار جداسازی همان انرژی نیست؛ و برای یک مقدار مشابه واحد کار بسته به کارایی روش جداسازی انرژی متفاوتی نیاز دارد. روش تهیه کیک زرد به‌طور معمول با آسیاب کردن و پردازش‌های شیمیایی بر روی سنگ معدن اورانیوم، پودر زبر و زردرنگی به

دست می‌آید و حدود ۸۰ درصد غلظت اکسید اورانیوم آن خواهد بود. این پودر در دمایی معادل ۲۸۷۸ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود.



برای تهیه کیک زرد، کانسنگ اورانیوم را پس از استخراج از معدن آسیاب می‌کنند و بعد از شستشو با اسید سولفوریک، آن را خشک و صاف می‌کنند. نام «کیک زرد» به خاطر رنگ زرد آن در مراحل اولیه کار است. کیک زرد ماده‌ای پرتوزا است.این عمل برای به دست آوردن اورانیوم خالص تر صورت می‌شود، ماده حاصل شده در این مرحله قهوه‌ای یا سیاه است و زرد نیست، سپس این محصول به دست آمده را خشک و فیلتر می‌کنند و نتیجه آن چیزی خواهد

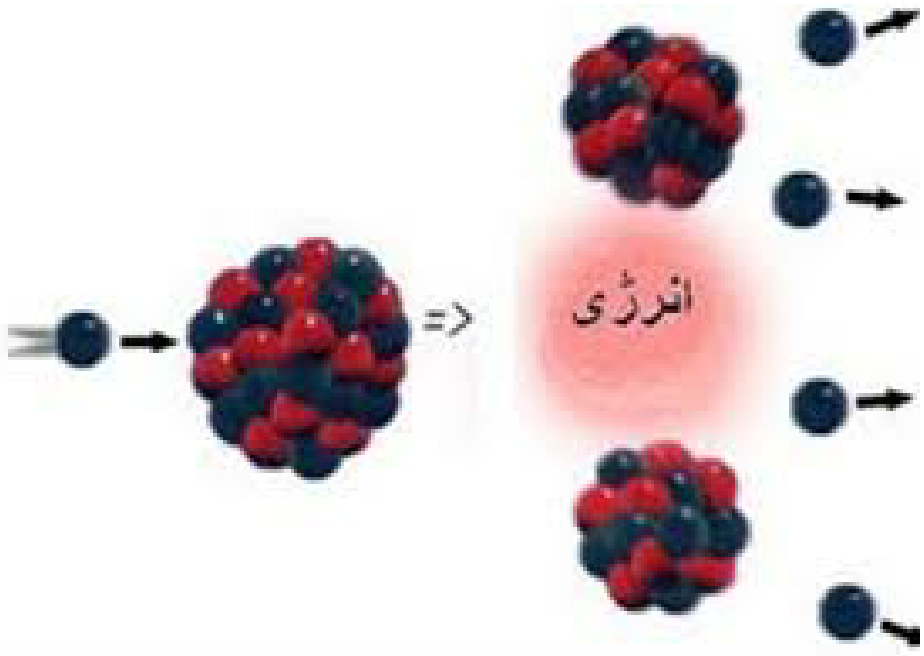
شد که به «کیک زرد» معروف است.امروزه روش‌های جدیدی برای تهیه این پودر اورانیوم وجود دارد که محصول آن‌ها بیش از آن که زرد باشد به قهوه‌ای و سیاه نزدیک است، در واقع رنگ ماده به دست آمده به میزان وجود ناخالصی‌ها در این پودر بستگی دارد.نهادن این نام بر روی این محصول به گذشته بر می‌گردد که کیفیت روش‌های خالص‌سازی سنگ معدن مناسب نبود و ماده به دست آمده، زرد رنگ بود.



کیک زرد عموماً برای تهیه سوخت رآکتور هسته ای به کار برده می‌شود، در واقع این ماده است که پس از پردازش‌هایی به UO۲ تبدیل و برای استفاده در

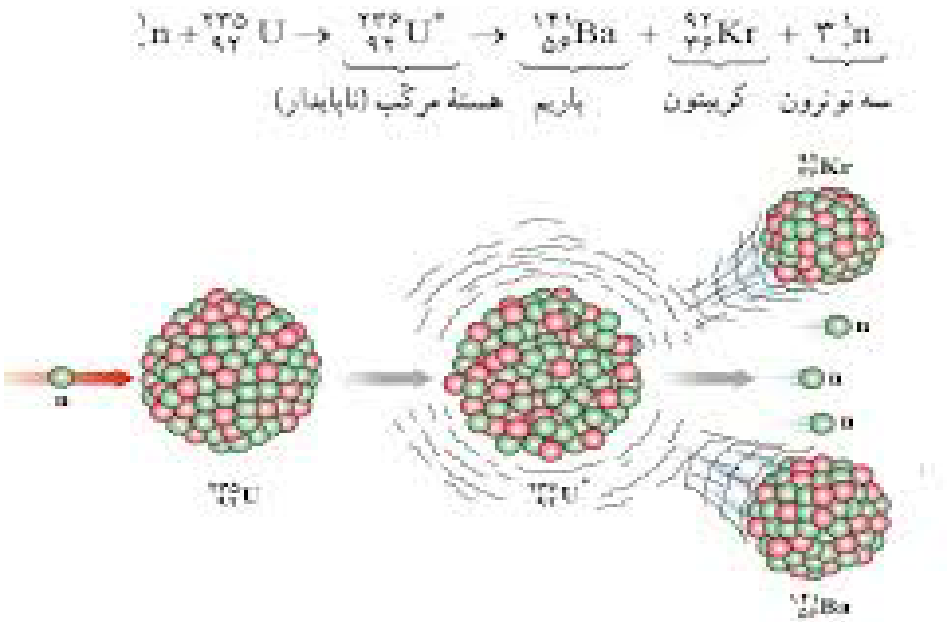
میله های سوختی به کار برده می شود.این ماده همچنین می‌تواند برای غنی سازی به گاز هگزافلوراید اورانیوم یا UF6 تبدیل شود، چون در این صورت می توان چگالی ایزوتوپ های اورانیوم ۲۳۵ را در آن افزایش داد.واحد های هسته ای قدرت که با آب سبک کار می کنند معمو با ۲ تا ۵ درصد اورانیوم ۲۳۵ مشغول به بهره برداری می‌باشند. در یک راکتور معمو ۳ غنای مقاومت برای یکسان نمودن شار نوترون و نیز تولید حرارت و انرژی یکنواخت، بطور همزمان استفاده خواهد گردید. بطوریکه در هنگام سوخت گذاری در حین کارکرد راکتور، سوخت با غنای بیشتر در طرف بیرونی مجموعه‌های سوخت قلب راکتور قرار می‌گیرد و پس از حدود ۱۲ تا ۱۸ ماه، سوخت گیری بعدی انجام شده و با قرار دادن اورانیوم تازه مجموعة مصرف شده را از مرکز قلب راکتور خارج نموده و سوخت جدید از محیط بیرونی به وسط و سوخت با غنای متوسط جای سوخت با غنای کمتر را اشغال خواهد نمود. در طیّ هر شکافت حرارتی ۲/۴۳ نوترون ایجاد خواهد شد که اگر یکی از این نوترون ها برای شکافت بعدی به کار برده شود ۱/۴۳ نوترون باقی می‌ماند که باید در راکتور های هسته ای از محیط حذف شود.

اما نکته ای که حائز اهمیت است این می‌باشد که نوترون‌های تولید شده در اثر شکافت هسته‌ای، دارای انرژی متفاوتی بوده و متوسط انرژی آن‌ها ۲) ۲ Mev مگا الکترون ولت [هر الکترون ولت معادل ۱۹-۱۰×۶/ ۱ ژول انرژی]) است حال آن‌که اورانیوم ۲۳۵ با نوترون‌هایی واکنش می‌دهد که انرژی آن‌ها بسیار پایین‌تر از این مقدار یعنی حدود ۲۵ هزارم الکترون ولت و سرعت آن‌ها ۲۲۰۰ متر بر ثانیه باشد و از آن‌جایی که سوخت عمده راکتورهای هسته‌ای از نوع اورانیوم است، بنابراین باید انرژی نوترون‌ها کاهش پیدا نماید. نوترون‌های تولیدی در راکتور، پس از آزاد شدن، به مواد اطراف سوخت برخورد نموده و انرژی آن‌ها در اثر این برخوردها کاهش پیدا خواهد نمود و چنان‌چه پس از کاهش انرژی، به هسته شکافت پذیر (اورانیوم ۲۳۵) برخورد نماید، سبب جذب آن شده و باعث می‌شود تا شکافت هسته ای بعدی رقم بخورد.



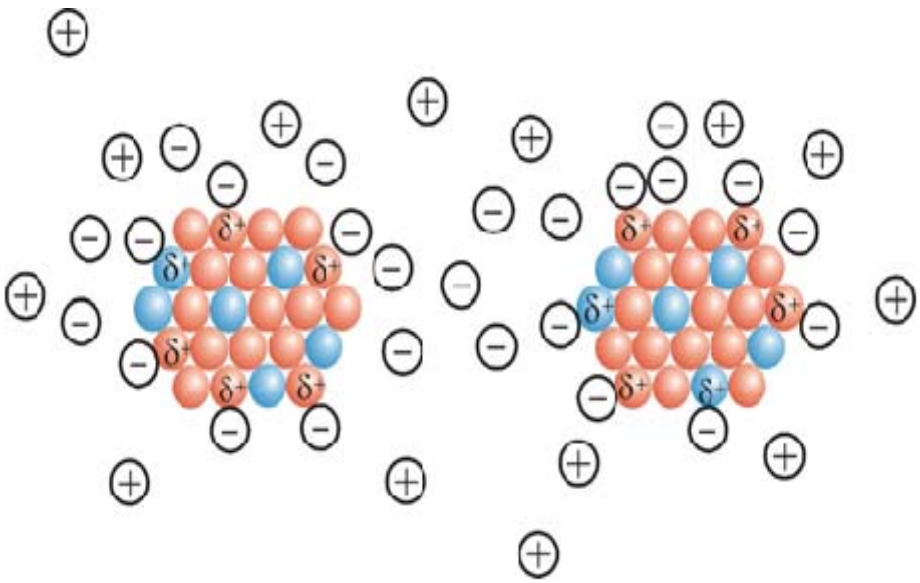
البته در این مرحله ممکن است نوترون توسط سایر عناصر موجود در راکتور جذب شده و از چرخه واکنش حذف گردد. چنان چه مواد اطراف سوخت را عناصر سبک تشکیل داده باشد، در نتیجهٔ برخورد نوترون با آن مواد، انرژی بیشتری از دست می‌رود که بهترین و در دسترس‌ترین مواد برای راکتورهای حرارتی، آب معمولی (H_2O) و آب سنگین (D_2O) است. اگر از آب معمولی تقطیر شده در اطراف می‌له‌های سوخت راکتور هسته‌ای استفاده شده باشد، نوترون‌های تولید شده پس از ۱۹ بار برخورد می‌توانند به انرژی حرارتی برسند و این مقدار برای آب سنگین ۳۵ مرتبه خواهد بود، اما درعین حال آب معمولی به مقدار زیادی نسبت به آب سنگین نوترون را جذب می‌نماید که این کار از انجام واکنش‌های بعدی خواهد کاست و، چون تنها ایزوتوپ‌های ^{235} اورانیوم قادرند تا با نوترون حرارتی واکنش دهند بنابراین جذب نوترون باعث می‌شود تا مقدار واکنش بعدی کاهش یافته و راکتور به سمت خاموشی پیش رود. برای این منظور باید میزان ایزوتوپ ^{235} در سوخت هسته‌ای با رود تا نوترون حرارتی قبل از جذب شدن توسط آب، با آن برخورد کرده و واکنش هسته‌ای انجام پذیرد. در نتیجه نیاز به غنی‌سازی

اورانیوم می‌باشد. اما چون درصد جذب نوترون توسط آب سنگین بسیار کمتر از آب معمولی است بنابراین چنان‌چه بخواهیم از اورانیوم معمولی در راکتور استفاده کنیم در نتیجه باید اطراف می‌له‌های سوخت، از آب سنگین انباشته شود تا ضمن کند کردن سرعت نوترون‌ها و بدون جذب کردن آن، امکان برخورد و جذب نوترون‌های حرارتی توسط اورانیوم ۲۳۵ مهیا گردد. آب معمولی دارای قدرت کاهش انرژی زیاد و قدرت کند کنندگی خوبی است، ولی به علّت این‌که جذب نوترون بیشتری انجام می‌دهد در مقایسه با سایر کند کننده‌ها دارای نسبت کند کنندگی پایینی می‌باشد، اما فراوانی و ارزان بودن آن باعث شده تا استفاده از آن‌را توجیه نماید. در عوض کیفیت کند کنندگی با ی آب سنگین و عدم جذب زیاد نوترون توسط آن با قیمت فوق‌العاده این ماده خنثی می‌شود.



با توجه به موارد ذکر شده نمی‌توان از اورانیوم طبیعی که دارای مقدار کمی ۲۳۵ است در راکتوری استفاده نمود که اطراف می‌له‌های سوخت آن، از آب معمولی به عنوان کند کننده استفاده شده است. به طور کلی برای ایجاد واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای در راکتورها باید شرایطی را فراهم نمود تا از بین نوترون‌های بوجود آمده در هر واکنش، ضمن کاهش سرعت و انرژی آن‌ها تنها یک نوترون قادر به انجام واکنش بعدی باشد. پس چنان‌چه از اورانیوم طبیعی استفاده شود کند کننده را آب سنگین انتخاب می‌نمایند و چنان‌چه هدف به‌کارگیری آب معمولی است، بنابراین اورانیوم غنی شده استفاده خواهد گردید. در هر دو صورت قیمت تمام شده یکسان خواهد شد. همچنین نوع راکتور و هزینه آن، بستگی به امکانات و تکنولوژی کشور استفاده کننده دارد. تولید برق با انرژی هسته ای نیاز به غنی سازی اورانیوم دارد که دانش این امر تنها در انحصار چند کشور است. اساس کار نیروگاه های اتمی و نیروگاه بخار تقریبا شبیه هم است. در نیروگاه اتمی به جای بویلر (دیگ بخار) از راکتور استفاده می شود. در نیروگاه هسته ای، هستهٔ اتم تغییر ماهیت داده و از خود انرژی تولید می کند. در راکتور آب به

وسیلۀ انرژی حاصل از واکنش های هسته ای گرم شده و بخار می شود و این بخار، توربین را به حرکت در آورده و الکتریسیته تولید می کند.



ایزوتوپ: ایزوتوپ های یک عنصر، خود عناصری هستند که دارای عدد اتمی یکسانند ولی عدد جرمی متفاوت دارند. این ایزوتوپ ها به دلیل داشتن عدد اتمی یکسان دارای خواص شیمیایی یکسان هستند.در نیروگاه هسته ای یا فیوژن، در عمل هستۀ یک عنصر سنگین برای نمونه ^{235}U توسط نوترون های شتاب داده شده بمباران می شود، در این صورت به ازای هر نوکلئون اورانیوم یک Mev انرژی اتصالی آزاد می شود. حال اگر این واکنش روی یک کیلو ^{235}U انجام شود انرژی به دست آمده معادل 20×10^6 kwH

خواهد بود، اگر بخواهیم این مقدار انرژی را از سوخت های فسیلی به دست آوریم مقدار ۱/ ۷ میلیون لیتر با ۲/۵ میلیون کیلو ذغال سنگ نیاز داریم.در قسمت غنی سازی، اورانیوم را تا حدود ۴- ۵ ٪ غنی سازی می کنند. زیرا این درصد برای تولید انرژی کافی خواهد بود. (انرژی صلح آمیز) چون از نظر خواص شیمیایی اورانیوم های ۲۳۸ و ۲۳۵ یکسانند، بنابراین از راه فرآیندهای شیمیایی نمی توانیم آن ها را از هم جدا کنیم. اما چون اورانیوم ۲۳۸ از اورانیوم ۲۳۵ قدری سنگین تر است. از این خاصیت برای جدا کردن این دو نوع اورانیوم از هم استفاده می کنیم. اورانیوم ۲۳۵ قابلیت شکستن دارد و ۲۳۸ این قابلیت را ندارد. اورانیوم ۲۳۵ خود به خود تجزیه می شود ولی دارای طول عمر زیادی است (یک میلیون سال). اگر در صد اورانیوم ۲۳۵ از حدی بیشتر شود امکان واکنش زنجیره ای وجود دارد. از هر سه نوترون آزاد شده یکی مصرف می شود.و دو نوترون دیگر آزاد می شوند که برای واکنش های بعدی به کار می روند. باز هم شش نوترون به وجود می آید که دو نوترون استفاده می شود و چهار نوترون دیگر برای واکنش های دیگر به کار می روند و به این ترتیب ادامه می یابد.در

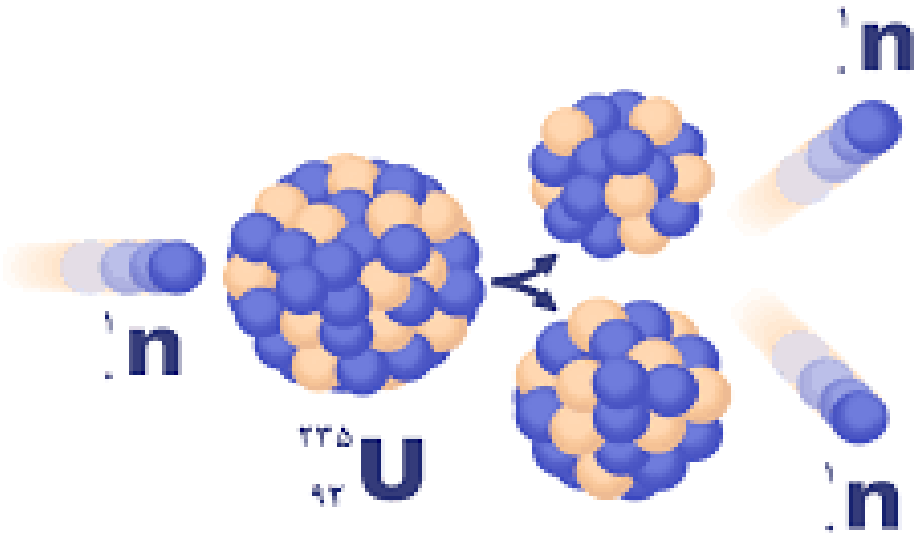
راکتورهای سریع هیچ سعی برای کم کردن سرعت نوترون ها صورت نمی گیرد (به مدراتور نیازی نیست). انرژی متوسط نوترون ها در این نوع راکتورها در حدود ۵/۰ تا ۵/۱ مگا الکترون ولت است.به همین دلیل میله های سوختی باید داخل مدراتور باشند تا واکنش انجام شود. در واقع مدراتور باید اضافه بر این که انرژی جنبشی نوترون را می گیرد، آن را جذب نکند. خصوصاً مواد با عدد جرمی کم، کند کننده های خوبی هستند. بعضی از انواع مدراتورها عبارتند از:

- هیدروژن (H2): مدراتور خوب، تنها مشکل جذب بعضی از نوترون ها توسط هیدروژن است.
- آب معمولی (H2O): مدراتور ایده آل، می توان از آب به عنوان سیال خنک کننده هم استفاده کرد، به دلیل پایین بودن نقطه جوش آب معمولی، باید آب با فشار با به کار رود.
- آب سنگین (D2O): تعدیل کنندهٔ مناسب برای کند کردن نوترون به اندازهٔ آب معمولی مؤثر نیست، خنک کنندهٔ بسیار خوب. احتمال جذب نوترون توسط آب سنگین کمتر از آب معمولی است.
- کربن (گرافیت): نوترون های زیادی را جذب نمی کند ولی آنها را به خوبی پراکنده می سازد. از نقاط

ضعف آن اکسید شدن گرافیت در دماهای با می باشد.

- برلیوم: از مهم ترین خنک کننده های جامد است که به صورت برلیوم فلزی یا اکسید برلیوم استفاده می شود. از خواص این خنک کنندهٔ جامد، کم کردن زیاد سرعت نوترون در برخورد با آن و با بودن نقطه ی ذوب آن (حدود ۱۱۵۸ درجه کلوین) می باشد.

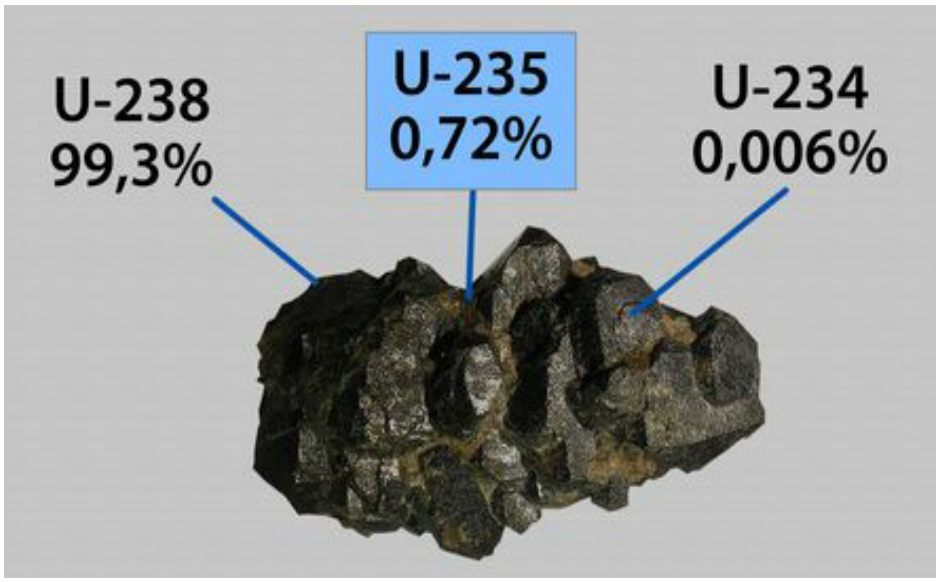
شکافتن اورانیوم ۲۳۵-



نوترون های سرعت یافته در بر خورد با مولکول های تعدیل کننده مقداری از انرژی خود را از دست می دهند. ضمن آن که در برخورد با این مولکول ها باعث گرم شدن آنها می شوند. بنابراین تعدیل کننده ها باید مرتب خنک شوند.برای خنک کردن تعدیل

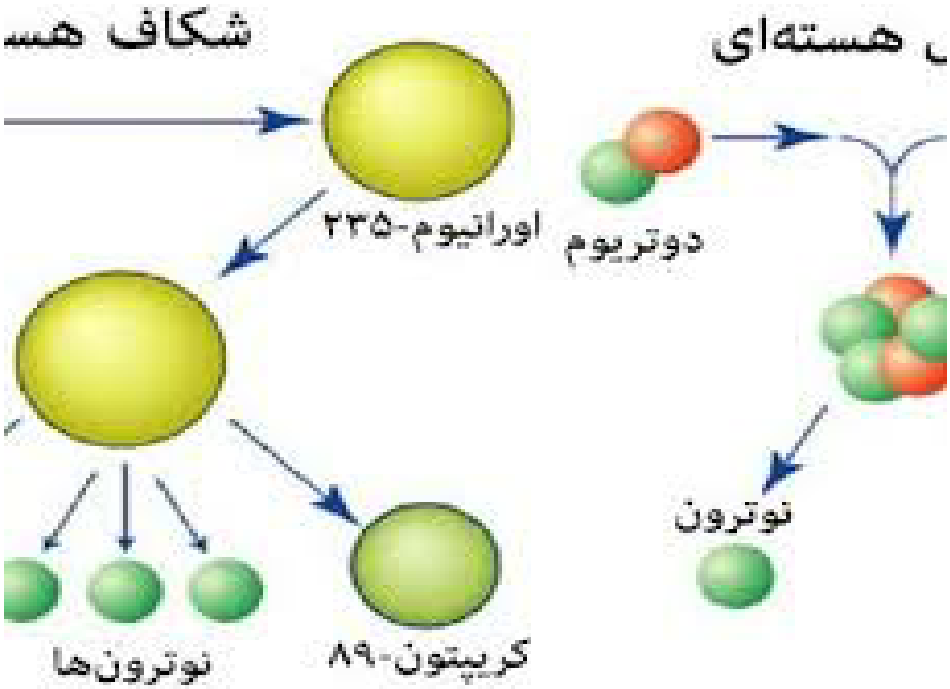
کننده ها، گرمای داخل راکتور توسط مادۀ خنک کننده به Exchanger Heat برده می شود. خنک کننده ها معمو ً DO،CO،HO، هلیوم مایع، ناتریوم، ویسموت و همچنین فلزات مایع مانند سدیم و سدیم-پتاسیم هستند. توجه شود که فلزات را قبل از شروع به کار راکتور باید حرارت داد.سوخت اصلی راکتورهای هسته ای قدرت، اورانیوم است که در راکتورهای مختلف، ترکیبات مختلف آن مورد استفاده قرار می گیرد. در این راکتورها از اورانیوم غنی شده به عنوان مادۀ شروع کنندۀ شکافت هسته ای استفاده می شود. اورانیوم غنی شده، اورانیومی است که ایزوتوپ ۲۳۸ آن به روش مصنوعی کم شده است. (در بعضی راکتورها از اورانیوم طبیعی هم می توان استفاده نمود) در راکتورهای غیر همگن یا هتروژن (مدراتور و سوخت از هم جدا هستند) اغلب از فلز اورانیوم با دی اکسید اورانیوم (UO۲) استفاده می شود. در راکتورهای همگن یا هموژن (سوخت و مدراتور با هم تشکیل یک واحد را می دهند) همیشه و بدون استثناء، از اورانیوم غنی شده به صورت محلول (UO2SO4) استفاده می گردد. این سوخت ها اغلب به صورت میله، تسمه و گلوله به کار برده می شوند.

میله های فرمان راکتور هسته ای از جنس کادمیوم یا بور هستند و وظیفهٔ آن ها جذب نوترون های اضافی است تا شکافت هسته های بعدی در کنترل باشد. به عبارت دیگر در مواقع لزوم، واکنش زنجیره ای را کاهش می دهند. در بعضی موارد برای استفاده از نوترون های آزاد شده در اثر شکافت، میله های کنترل از مادهٔ بور ساخته می شود. مادهٔ بارور، ماده ای است که در اثر جذب نوترون و فروپاشی به نمونه های قابل شکافت تبدیل می شود.از میله های فرمان برای خاموش کردن راکتور هم استفاده می شود . این عمل با وارد کردن میله های قابل کنترل تا انتهای هسته ی راکتور صورت می گیرد. در مواقع اضطراری و بروز خطر هم، این میله ها به صورت اتوماتیک و خیلی سریع تا انتهای هستهٔ راکتور نفوذ می کنند. با جذب نوترون ها باعث توقف واکنش زنجیره ای و خاموش شدن راکتور می شوند.



نیروگاه اتمی در صورتی که کنترل نشود مانند بمب منفجر نخواهد شد. چون در بمب های هسته ای واکنش زنجیره ای به طور مداوم انجام می شود، اما در راکتور اگر کنترلی صورت نگیرد حرارت با می رود و اورانیوم موجود در راکتور که از نوع ۲۳۸ می باشد، مانع از افزایش واکنش زنجیره ای می شود. همچنین حرارت زیاد سبب افزایش سرعت نوترون ها می شود که نوترون ها با سرعت با در واکنش شرکت نمی کنند و همچنین باریم و کریپتون، نوترون ها را جذب می کنند.اما حرارت با سبب ذوب شدن راکتور و لوله های خنک کننده می شود که این عمل باعث بروز اثر و مشکل زیادی روی جان و مال بشر می شود که این پیامدها هم کمتر از مشک ت بمب های هسته ای نیست. علت این که در معادن اورانیوم انفجار رخ نمی دهد این است که در معادن، اورانیوم ۲۳۵ مقدارش خیلی کم و احتمال برخورد نوترون به اورانیوم ۲۳۵ کم است و به همین دلیل انفجار روی نمی دهد.در عمل هسته یک عنصر سنگین برای نمونه ۲۳۵U توسط نوترون های شتاب داده شده بمباران می شود، در این صورت به ازای هر نوکلئون اورانیوم یک Mev انرژی اتصالی آزاد می شود. حال اگر این واکنش روی یک

کیلو ۲۳۵U انجام شود انرژی به دست آمده معادل ۲۰×۱۰۶ kwH خواهد بود، اگر بخواهیم این مقدار انرژی را از سوخت های فسیلی به دست آوریم مقدار ۷/۱ میلیون لیتر با ۲/۵ میلیون کیلو ذغال سنگ نیاز داریم.



در قسمت غنی سازی، اورانیوم را تا حدود ۴-۵ ٪ غنی سازی می کنند. زیرا این درصد برای تولید انرژی کافی خواهد بود. (انرژی صلح آمیز) چون از نظر خواص شیمیایی اورانیوم های ۲۳۸ و ۲۳۵ یکسانند، بنابراین از راه فرآیندهای شیمیایی نمی توانیم آن ها را از هم جدا کنیم. اما چون اورانیوم ۲۳۸ از اورانیوم ۲۳۵ قدری سنگین تر است. از این

خاصیت برای جدا کردن این دو نوع اورانیوم از هم استفاده می کنیم. اورانیوم ۲۳۵ قابلیت شکستن دارد و ۲۳۸ این قابلیت را ندارد. اورانیوم ۲۳۵ خود به خود تجزیه می شود ولی دارای طول عمر زیادی است (یک میلیون سال). اگر در صد اورانیوم ۲۳۵ از حدی بیشتر شود امکان واکنش زنجیره ای وجود دارد. از هر سه نوترون آزاد شده یکی مصرف می شود. و دو نوترون دیگر آزاد می شوند که برای واکنش های بعدی به کار می روند. باز هم شش نوترون به وجود می آید که دو نوترون استفاده می شود و چهار نوترون دیگر برای واکنش های دیگر به کار می روند و به این ترتیب ادامه می یابد.در واکنشهای شکافت هسته‌ای مقادیر زیادی نیز انرژی آزاد می‌گردد (در حدود Mev 200)، اما مسئله مهمتر اینکه نتیجه شکستن هسته اورانیوم-۲۳۵، آزادی دو نوترون است که می‌تواند دو هسته دیگر را شکسته و چهار نوترون را بوجود آورد. این چهار نوترون نیز چهار هسته اورانیوم-۲۳۵ را می شکند. چهار هسته شکسته شده تولید هشت نوترون می کنند که قادر به شکستن همین تعداد هسته اورانیوم می باشند، سپس شکست هسته ای و آزاد شدن نوترونها بصورت زنجیروار به سرعت تکثیر و توسعه می

یابد. اورانیوم هنگام عمل پایش به رنگ سفید مایل به نقره‌ای فلزی با خاصیت رادیو اکتیوی ضعیف می باشد که کمی از فو د نرم‌تر است. این فلز چکش‌خار ، رسانای جریان الکتریسیته و کمی Paramagnetic می‌باشد. چگالی اورانیوم 65% بیشتر از چگالیسرب می‌باشد. اگر اورانیوم به‌خوبی جدا شود، بشدت از آب سرد متاثر شده و در برابر هوا اکسید می‌شود. اورانیوم استخراج شده از معادن ، می‌تواند به‌صورت شیمیایی به دی اکسید اورانیوم و دیگر گونه‌های قابل استفاده در صنعت تبدیل شود.

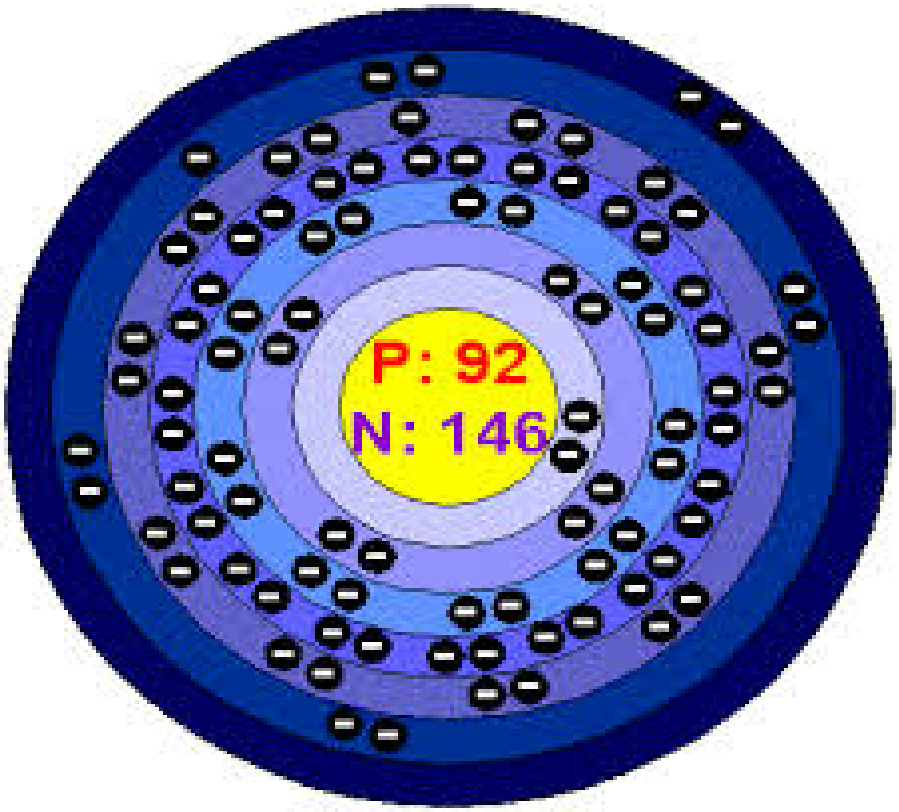
گونه‌های اورانیوم در صنعت

اورانیوم در صنعت سه گونه دارد.

- آلفا (Orthohombic) که تا دمای 667.7 درجه پایدار است.
- بتا (Tetragonal) که از دمای 667.7 تا 774.8 درجه پایدار است.
- گاما (Body-centered cubic) که از دمای 774.8 درجه تا نقطه ذوب پایدار است. (این رساناترین و چکش‌خوارترین گونه اورانیوم می‌باشد.)

دو ایزوتوپ مهم ان U235 و U238> می‌باشند که U235 مهمترین برای راکتورهای و برق هسته‌ای است. چرا که این ایزوتوپ تنها ایزوتوپی است که طبیعت

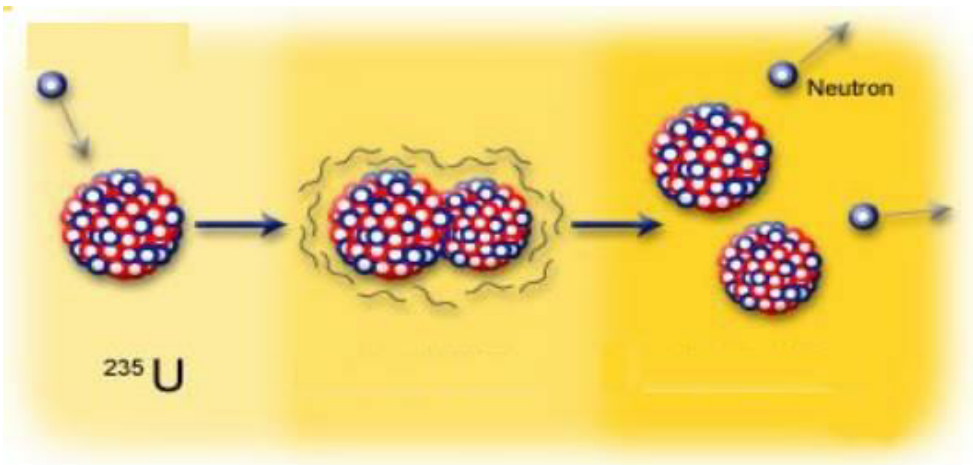
وجود دارد و در هر مقدار ممکن توسط نوترونهای حرارتی شکافته می‌شود. ایزوتوپ U238 نیز از این جهت مهم است که نوترونها را برای تولید ایزوتوپ رادیواکتیو جذب کرده و آن را به ایزوتوپ Pu239 پلوتونیوم تجزیه می‌کند. ایزوتوپ مصنوعی U233 نیز شکافته شده و توسط بمباران نوترونی Thorium232 بوجود می‌آید.



اورانیوم اولین عنصر یافته شده بود که می‌توانست شکافته شود. برای نمونه با بمباران آرام نوترونی ایزوتوپ U235 آن به ایزوتوپ کوتاه عمر U236

تبدیل شده و ب فاصله به دو هسته کوچکتر تقسیم می‌شود که این عمل انرژی آزاد کرده و نوترونهای بیشتری تولید می‌کند.اگر این نوترونها توسط هسته U235 دیگری جذب شوند، عملکرد حلقه هسته‌ای دوباره اتفاق می‌افتد و اگر چیزی برای جذب نوترونها وجود نداشته باشد. اتم های اورانیوم به اشکال مختلفی به نام ایزوتوپ وجود دارند - در درجه اول اورانیوم-238 یا U-238 و اورانیوم-235 یا U-235. در یک نمونه معمولی از اورانیوم طبیعی، بیشتر جرم (99.3٪) از اتم های U-238 و بخش بسیار کمی از جرم کل (0.7٪) از اتم های U-235 تشکیل شده است.ایزوتوپ های پرتوزا یا رادیواکتیو را ایزوتوپ های ناپایدار هم می گویند. در این گونه از ایزوتوپ هسته به صورت پرتوی آلفا، بتا، گیراندازی الکترون و... واپاشی می شود و به حالتهای پایدارتری از انرژی می رسد. این نوع ایزوتوپ ها با اینکه خطرناک هستند، اما در زندگی کاربرد های مفیدی دارند.در صورتی که در یک رآکتور از سوختی یکنواخت اورانیوم-238 یا پلوتونیوم-۲۳۹ استفاده شود بر اثر افزایش غیرقابل کنترل تعداد شکافت‌های هسته‌ای بر اثر فرایند زنجیره‌ای، انفجار هسته‌ای ایجاد می‌شود. اما فرایند زنجیره‌ای موجب ایجاد

انفجار هسته‌ای در یک رآکتور نخواهد شد چرا که تعداد شکافت‌های رآکتور به اندازه‌ای زیاد نخواهد بود که موجب انفجار شوند و این به دلیل درجه غنی‌سازی پایین سوخت رآکتورهای هسته‌ای است. اورانیوم طبیعی دارای درصد اندکی (کمتر از ۱٪) از اورانیوم-۲۳۵ است و بقیه آن اورانیوم-۲۳۸ است (زیرا اورانیوم-۲۳۸ توانایی شکافت‌پذیری ندارد). اکثر رآکتور ها نیروگاه های هسته‌ای از اورانیوم با درصد غنی سازی بین ۳٪ تا ۴٪ استفاده می کنند اما برخی از آن‌ها طوری طراحی شده اند که با اورانیوم طبیعی کار کنند و برخی از آن ها نیز به سوخت های با درصد غنی سازی زیادتر نیاز دارند.



شکل عمومی تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه های اتمی همانند نیروگاه های بخاری است با این تفاوت که منبع تولید گرما سوخت فسیلی نمی باشد و

انرژی مورد نیاز جهت تولید بخار برای گرداندن توربین، از فعل و انفعال اتمی در راکتور بدست می‌آید.معمول انرژی حاصل از فعل و انفعال اتمی در راکتور به یک سیال منتقل می‌گردد که این سیال می‌تواند بطور مستقیم به طرف توربین هدایت گردد و یا با عبور از مبدل گرما، سیال دیگری را گرم نموده و نهایتاً آب مورد نیاز را به بخار تبدیل کرده و آنرا به توربین هدایت کند.در راکتور های اتمی اولیه، سیال منتقل کننده اولیه آب بوده که مستقیماً پس از تبدیل شدن به بخار بطرف توربین هدایت می‌شد اما در تکنولوژی امروزی برای ایجاد امکان کنترل بیشتر روی فعل انفعال اتمی و کاهش خطرات ناشی از فعل و انفعال، سیال واسطی بصورت مدار بسته حرارت تولیده شده در راکتور را در مبدل حرارتی جداگانه ای به آب منتقل نموده و آنرا به بخار تبدیل می نماید..

فعل و انفعال اتمی به دو صورت انجام می پذیرد:

الف) شکافت یا شکست اتمی:

در این روش عناصر سنگین از طریق فعل و انفعا ت اتمی به عناصر سبک تبدیل شده و انرژی آزاد می نمایند. در این حالت عناصر سنگین با از دست دادن نوترون و کاهش وزن به آزاد سازی انرژی

درونی خود می پردازند. در راکتور های نیروگاه های اتمی موجود، از این فرایند استفاده می شود

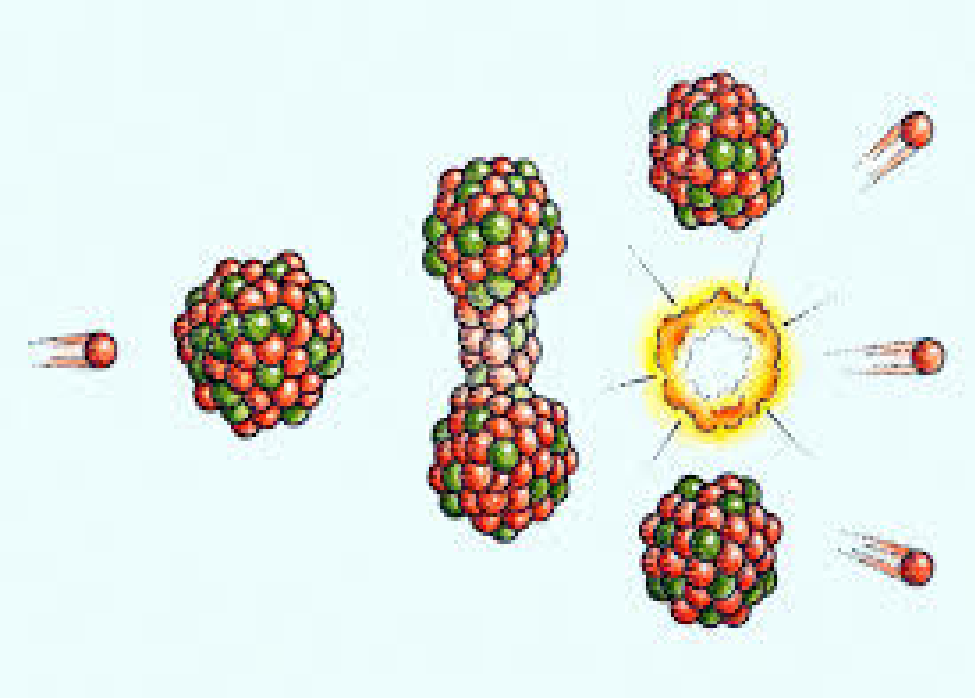
ب) جوش یا گداخت اتمی:

در این روش عناصر سبک با جذب نوترن به عناصر سنگین تر تبدیل می شوند و همزمان با از دست دادن بخش جزئی از وزن خود، قسمتی از انرژی درونی خود را آزاد می کنند.

شکافت هسته ای صورت گرفته در یک رآکتور فقط بخشی از یک چرخه هسته ای است. این چرخه از معادن شروع می‌شود. میزان اورانیوم موجود در

پوسته زمین نسبتاً زیاد است به طوری که با منابع فلزاتی همچون قلع و ژرمانیوم برابری می کند و تقریباً ۳۵ برابر میزان نقره موجود در پوسته زمین است. اورانیوم ماده تشکیل دهنده بسیاری از اجسام اطراف ما مانند سنگ ها و خاک استنیروگاه هسته‌ای به تأسیساتی صنعتی و نیروگاهی می‌گویند که بر پایهٔ فناوری هسته‌ای و با کنترل فرایند شکافت هسته‌ای، از گرمای آزاد شدهٔ آن اقدام به تولید انرژی الکتریکی می‌کند. کنترل انرژی هسته‌ای با حفظ تعادل در فرایند شکافت هسته‌ای همراه است که با استفاده از گرمای تولیدی برای تولید بخار آب (مانند بیشتر نیروگاه‌های گرمایی) اقدام به چرخاندن توربین‌های بخار و به دنبال آن ژنراتورها می‌کند.در یک نیروگاه هسته‌ای این گرما از شکافت هسته‌ای که در داخل رآکتور صورت می‌گیرد تأمین می‌شود. هنگامی که یک هسته نسبتاً بزرگ قابل شکافت مورد برخورد نوترون قرار می‌گیرد به دو یا چند قسمت کوچک‌تر تقسیم می‌شود و در این فرایند که به آن شکافت هسته‌ای می‌گویند تعدادی نوترون و مقدار نسبتاً زیادی انرژی آزاد می‌شود. نوترون‌های آزاد شده از یک شکافت هسته‌ای در مرحله بعد خود با برخورد به دیگر هسته‌ها موجب شکافت‌های دیگری

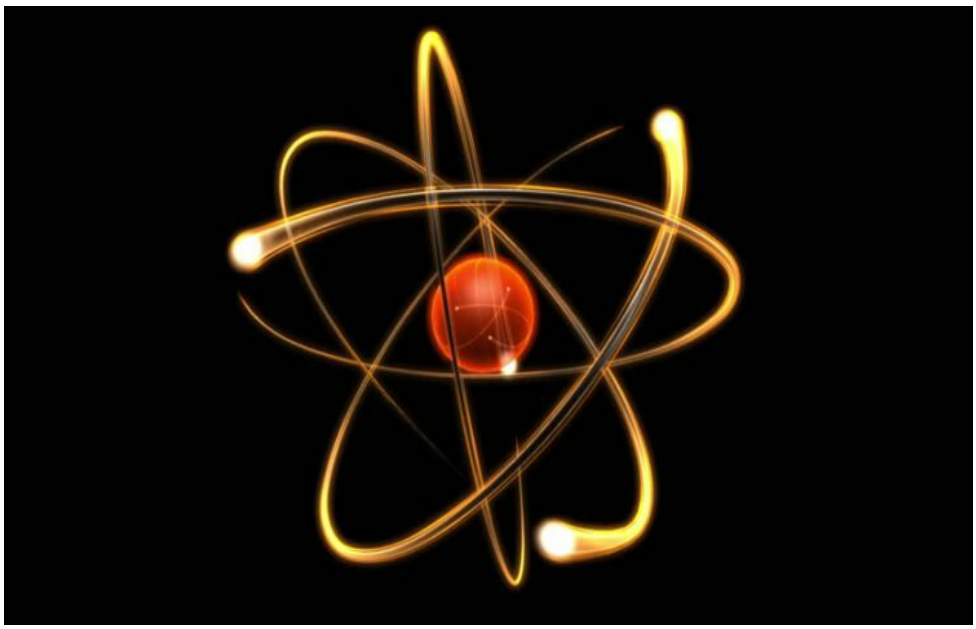
می‌شوند و به این ترتیب یک فرایند زنجیره‌ای به وجود می‌آید. زمانی که این فرایند زنجیره‌ای کنترل شود می‌توان از انرژی آزاد شده در هر شکافت (که بیشتر آن به صورت گرماست) برای تبخیر آب و چرخاندن توربین‌های بخار و در نهایت تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد. در صورتی که در یک رآکتور از سوختی یکنواخت اورانیوم-۲۳۵ یا پلوتونیوم- ۲۳۹ استفاده شود بر اثر افزایش غیرقابل کنترل تعداد شکافت‌های هسته‌ای بر اثر فرایند زنجیره‌ای، انفجار هسته‌ای ایجاد می‌شود. اما فرایند زنجیره‌ای موجب ایجاد انفجار هسته‌ای در یک رآکتور نخواهد شد چرا که تعداد شکافت‌های رآکتور به اندازه‌ای زیاد نخواهد بود که موجب انفجار شوند و این به دلیل درجه غنی‌سازی پایین سوخت رآکتورهای هسته‌ای است. اورانیوم طبیعی دارای درصد اندکی (کمتر از ۱٪) از اورانیوم-۲۳۵ است و بقیه آن اورانیوم-۲۳۸ است (زیرا اورانیوم-۲۳۸ توانایی شکافت‌پذیری ندارد). اکثر رآکتور ها نیروگاه های هسته‌ای از اورانیوم با درصد غنی سازی بین ۳٪ تا ۴٪ استفاده می کنند اما برخی از آن‌ها طوری طراحی شده اند که با اورانیوم طبیعی کار کنند و برخی از آن ها نیز به سوخت های با درصد غنی سازی با تر نیاز دارند.



شکافت هسته ای صورت گرفته در یک رآکتور فقط بخشی از یک چرخه هسته‌ای است. این چرخه از معادن شروع می‌شود. اورانیوم استخراج شده از معدن معمو ً فرمی پایدار و فشرده مانند کیک زرد دارد. این اورانیوم معدنی به تأسیسات فرآوری فرستاده می‌شود و در آنجا کیک زرد به هگزافلوراید اورانیوم (که پس از غنی‌سازی به عنوان سوخت رآکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد) تبدیل می‌گردد. در این مرحله درجه غنی‌سازی اورانیوم یعنی درصد اورانیوم-۲۳۵ در حدود ۰٫۷٪ است. در صورت نیاز بسته به نوع سوخت نیروگاه (درصد غنی‌سازی زم برای سوخت نیروگاه) اورانیوم غنی‌سازی شده و سپس از آن برای تولید میل‌های سوختی مورد

استفاده در نیروگاه (شکل میله‌ها در نیروگاه‌های مختلف متفاوت است) استفاده می‌کنند. عمر هر میل تقریباً سه سال است به‌طوری‌که حدود ۳٪ از اورانیوم موجود در آن مورد مصرف قرار گیرد. پس از گذشت عمر اورانیوم، آن را به حوضچه سوخت مصرف شده می‌برند. اورانیوم باید حداقل ۵ سال در این حوضچه‌ها باقی بماند تا ایزوتوپهای به وجود آمده در اثر شکافت هسته‌ای از آن جدا شوند. پس از گذشت این زمان اورانیوم را در بشکه‌های خشک انبار می کنند یا اینکه دوباره آن را به چرخه سوخت باز می گردانند.غنی سازی اورانیوم برای تولید برق عملی است که به واسطهٔ آن در یک تودهٔ اورانیوم طبیعی مقدار ایزوتوپ ۲۳۵U بیشتر و مقدار ایزوتوپ ۲۳۸U کم تر شود. غنی سازی اورانیوم یکی از مراحل چرخهٔ سوخت هسته‌ای است.اورانیوم طبیعی (که به‌شکل اکسید اورانیوم است) شامل ۹۹,۳٪ از ایزوتوپ ۲۳۸U و ۰,۷٪ از ۲۳۵U است. ایزوتوپ ۲۳۵U اورانیوم قابل شکافت و مناسب برای تولید برق هسته ای و نیروگاه های هسته ای است‌شکافت هسته ای یا فیوژن (Nuclear fission) فرایندی است که در آن یک اتم سنگین مانند اورانیوم به دو اتم سبکتر تبدیل می‌شود. وقتی

هسته‌ای با عدد اتمی زیاد شکافته شود، بر پایه، مقداری از جرم آن به انرژی تبدیل می شود. از این انرژی در تولید برق (در نیروگاه هسته ای) یا تخریب (هسته ای) استفاده می‌شود.فرایند شکافت هسته ایبرای ایجاد شکافت هسته ای نیاز به بمباران نوترونی است؛ یعنی نوترونی را که سرعت آن (تقریباً) با سرعت نور برابری می کند با روش هایی مانند استفاده از آبهای سنگین یا سبک کاهش سرعت پیدا کند تا بعد از ناپایدار شدن هسته اتم، اتم تجزیه شود.



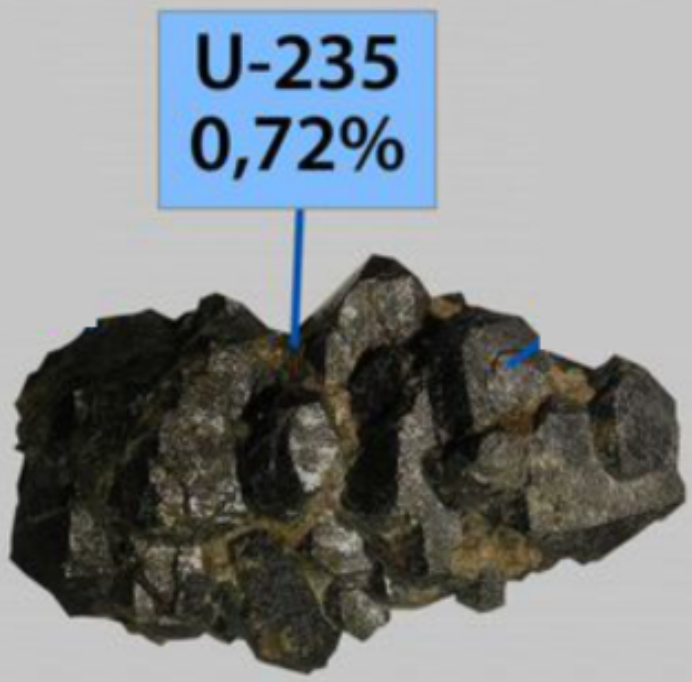
(در اورانیوم پس از تجزیه عناصر باریم و کریپتون. ۲ یا ۳ عدد نوترون پس داده می شود) اوتوهان زمانی که قصد داشت از بمباران اورانیوم با نوترون آن را به رادیم تبدیل کند دریافت که به اتم بسیار

کوچک‌تری دست یافته است. در تمام واکنش هسته ای که تا آن زمان شناخته شده بود تنها ذرات کوچک از هسته جدا می شدند اما این بار یک تقسیم بزرگ رخ داده بود. فراوردهٔ این بمباران نوترونی باریم است و جرم هر اتم اورانیم هنگام تبدیل شدن به ذرات کوچک تر به اندازهٔ یک پنجم جرم یک پروتون کاهش می یابد که پس از برخورد یک نوترون به ایزوتوپ اورانیوم-۲۳۶ تبدیل شده و به سرعت متـ شی شده و پرتو های رادیو اکتیو از خود ساطع می کند. سپس به دو عنصر باریم-۱۴۱ و کریپتون-۹۲ باریم-۱۴۱ به لانتان-۱۴۱ واپاشی می شود و لانتان-۱۴۱ سریم-۱۴۱ و به پرازئودیمیم-۱۴۱ تقسیم شده و به پایداری می‌رسد و کریپتون-۹۲ به روبیدیم-۹۲ واپاشی شده و روبیدیم-۹۲ به استرانسیم-۹۲ و استرانسیم به ایتریم-۹۲ و ایتریم به زیرکونیم-۹۲ می رسد و پایدار می شود. در ضمن ۲/۵ عدد نوترون دیگر آزاد می کند که هر یک موجب شکافت یک هستهٔ اورانیوم دیگر می شوند و این واکنش زنجیره ای مرتب ادامه پیدا می کند.در برق هسته ای واکنش زنجیره ای بدون کنترل ادامه می یابد تا بیش‌ترین انرژی ممکن در لحظه تولید شود. طی این واکنش زنجیره ای که در طی چند میلیونیم

ثانیه رخ می دهد تعداد رویداد شکافت هسته ای به سرعت افزایش می یابد. در راکتور های هسته ای سرعت نوترون ها را با استفاده از مواد کند کننده کاهش می دهند تا واکنش زنجیره ای کنترل شود. برای تولید برق شکافت هسته‌ای صورت گرفته در یک رآکتور فقط بخشی از یک چرخه هسته‌ای است. این چرخه از معادن شروع می‌شود. اورانیوم استخراج شده از معدن معمولی فرمی پایدار و فشرده مانند کیک زرد دارد. این اورانیوم معدنی به تأسیسات فرآوری فرستاده می‌شود و در آنجا کیک زرد به هگزافلوراید اورانیوم (که پس از غنی‌سازی به عنوان سوخت رآکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد) تبدیل می‌گردد. در این مرحله درجه غنی‌سازی اورانیوم یعنی درصد اورانیوم-۲۳۵ در حدود ۰٫۷٪ است.

منبع نامحدود برقِ هسته ای

غنی سازی اورانیوم ۲۳۵



نویسنده : دکتر افشین رشید