



انرژی هسته ای

استفاده اصلی از انرژی هسته‌ای، تولید انرژی الکتریسته است. این راهی ساده و کارآمد برای جوشاندن آب و ایجاد بخار برای راه‌اندازی توربین‌های مولد است. بدون راکتورهای موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای، این نیروگاه‌ها شبیه دیگر نیروگاه‌ها زغال‌سنگی و سوختی می‌شود. انرژی هسته‌ای بهترین کاربرد برای تولید مقیاس متوسط یا بزرگی از انرژی الکتریکی به‌طور مداوم است. سوخت اینگونه ایستگاه‌ها را اورانیوم تشکیل می‌دهد. چرخه سوخت هسته‌ای تعدادی عملیات صنعتی است که تولید الکتریسته را با اورانیوم در راکتورهای هسته‌ای ممکن می‌کند.

اورانیوم عنصری نسبتاً معمولی و عادی است که در تمام دنیا یافت می‌شود. این عنصر به‌صورت معدنی در بعضی از کشورها وجود دارد که حتماً باید قبل از مصرف به صورت سوخت در راکتورهای هسته‌ای، فرآوری شود. الکتریسته با استفاده از گرمای تولید شده در راکتورهای هسته‌ای و با ایجاد بخار برای به‌کار انداختن توربین‌هایی که به مولد متصل‌اند تولید می‌شود.

سوختی که از راکتور خارج شده، بعد از این که به پایان عمر مفید خود رسید می‌تواند به عنوان سوختی جدید استفاده شود.

فعالیت‌های مختلفی که با تولید الکتریسته از واکنش‌های هسته‌ای همراهند مرتبط به چرخه سوخت هسته‌ای هستند. چرخه سوختی انرژی هسته‌ای با اورانیوم آغاز می‌شود و با انهدام پسماندهای هسته‌ای پایان می‌یابد. دوبار عمل‌آوری سوخت‌های خرج شده به مرحله‌های چرخه سوخت هسته‌ای شکلی صحیح می‌دهد.

اورانیوم

اورانیوم فلزی رادیواکتیو و پرتوزاست که در سراسر پوسته سخت زمین موجود است. این فلز حدوداً 500 بار از طلا فراوان‌تر و به اندازه قوطی حلبی معمولی و عادی است. اورانیوم اکنون به اندازه‌ای در صخره‌ها و خاک و زمین وجود دارد که در آب رودخانه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها موجود است. برای مثال این فلز با غلظتی در حدود 4 قسمت در هر میلیون (ppm4) در گرانیته وجود دارد که 60 درصد از کره زمین را شامل می‌شود، در کودها با غلظتی بالغ بر ppm400 و در ته‌مانده زغال‌سنگ با غلظتی بیش از ppm100 موجود است. اکثر رادیو اکتیویته مربوط به اورانیوم در طبیعت در حقیقت ناشی از معدن‌های دیگری است که با عملیات رادیواکتیو به وجود آمده‌اند و در هنگام استخراج از معدن و آسیاب کردن به جا مانده‌اند.



چند منطقه در سراسر دنیا وجود دارد که غلظت اورانیوم موجود در آنها به قدر کافی است که استخراج آن برای استفاده از نظر اقتصادی به صرفه و امکان پذیر است. این نوع مواد غلیظ، سنگ معدن یا کانه نامیده می شوند.

استخراج اورانیوم

هر دو نوع حفاری و تکنیک های موقعیتی برای کشف کردن اورانیوم به کار می روند، حفاری ممکن است به صورت زیرزمینی یا چال های باز و روی زمین انجام شود.

در کل، حفاری های روزمینی در جاهایی استفاده می شود که ذخیره معدنی نزدیک به سطح زمین و حفاری های زیرزمینی برای ذخیره های معدنی عمیق تر به کار می رود. به طور نمونه برای حفاری روزمینی بیشتر از 120 متر عمق، نیاز به گودال های بزرگی بر سطح زمین است؛ اندازه گودال ها باید بزرگتر از اندازه ذخیره معدنی باشد تا زمانی که دیواره های گودال محکم شوند تا مانع ریزش آنها شود. در نتیجه، تعداد موادی که باید به بیرون از معدن انتقال داده شود تا به کانه دسترسی پیدا کند زیاد است.

حفاری های زیرزمینی دارای خرابی و اخلاص های کمتری در سطح زمین هستند و تعداد موادی که باید برای دسترسی به سنگ معدن یا کانه به بیرون از معدن انتقال داده شوند به طور قابل ملاحظه ای کمتر از حفاری نوع روزمینی است.

مقدار زیادی از اورانیوم جهانی از (ISL) (In Sitaleding) می آید. جایی که آب های اکسیژنه زیرزمینی در معدن های کانه ای پرمفد به گردش می افتند تا اورانیوم موجود در معدن را در خود حل کنند و آن را به سطح زمین آورند. (ISL) شاید با اسید رقیق یا با محلول های قلیایی همراه باشد تا اورانیوم را محلول نگهدارد، سپس اورانیوم در کارخانه های آسیاب سازی اورانیوم، از محلول خود جدا می شود. در نتیجه انتخاب روش حفاری برای ته نشین کردن اورانیوم بستگی به جنس دیواره معدن کانه سنگ، امنیت و ملاحظات اقتصادی دارد.

در غالب معدن های زیرزمینی اورانیوم، پیشگیری های مخصوصی که شامل افزایش تهویه هوا می شود، لازم است تا از پرتوافشانی جلوگیری شود.

آسیاب کردن اورانیوم

محل آسیاب کردن معمولاً به معدن استخراج اورانیوم نزدیک است. بیشتر امکانات استخراجی شامل یک آسیاب می شود. هرچه جایی که معدن ها قرار دارند به هم نزدیک تر باشند یک آسیاب می تواند عمل آسیاب سازی چند



معدن را انجام دهد. عمل آسیاب‌سازی اکسید اورانیوم غلیظی تولید می‌کند که از آسیاب حمل می‌شود. گاهی اوقات به این اکسیدها کیک زرد می‌گویند که شامل 80 درصد اورانیوم می‌باشد. سنگ معدن اصل شاید دارای چیزی در حدود 0/1 درصد اورانیوم باشد.

در یک آسیاب، اورانیوم با عمل سنگ‌شویی از سنگ‌های معدنی خرد شده جدا می‌شود که یا با اسید قوی و یا با محلول قلیایی قوی حل می‌شود و به صورت محلول در می‌آید. سپس اورانیوم با ته‌نشین کردن از محلول جدا می‌شود و بعد از خشک کردن و معمولاً حرارت دادن به صورت اشباع شده و غلیظ در استوانه‌های 200 لیتری بسته‌بندی می‌شود.

باقیمانده سنگ معدن که بیشتر شامل مواد پرتوزا و سنگ معدن می‌شود در محلی معین به دور از محیط معدن در امکانات مهندسی نگهداری می‌شود. (معمولاً در گودال‌هایی روی زمین). پس‌مانده‌های دارای مواد رادیواکتیو عمری طولانی دارند و غلظت آنها کم خاصیتی سمی دارند. هرچند مقدار کلی عناصر پرتوزا کمتر از سنگ معدن اصلی است و نیمه عمر آنها کوتاه خواهد بود اما این مواد باید از محیط زیست دور بمانند.

تبدیل و تغییر

محلول آسیاب شده اورانیوم مستقیماً قابل استفاده به‌عنوان سوخت در راکتورهای هسته‌ای نیست. پردازش اضافی به غنی‌سازی اورانیوم مربوط است که برای تمام راکتورها لازم است. این عمل اورانیوم را به نوع گازی تبدیل می‌کند و راه به‌دست آوردن آن تبدیل کردن به هگزا فلورید (Hexa Fluoride) است که در دمای نسبتاً پایین گاز است. در وسیله‌ای تبدیل‌گر، اورانیوم به اورانیوم دی‌اکسید تبدیل می‌شود که در راکتورهایی که نیاز به اورانیوم غنی شده ندارند استفاده می‌شود. بیشتر آنها بعد از آن که به هگزا فلورید تبدیل شدند برای غنی‌سازی در کارخانه آماده هستند و در کانتینرهایی که از جنس فلز مقاوم و محکم است حمل می‌شوند. خطر اصلی این طبقه از چرخه سوختی اثر هیدروژن فلورید (Hydrogen Fluoride) است.



مزایایی استفاده از انرژی هسته ای

انرژی در جهان امروز یک عامل راهبردی است و اغلب کشورهای جهان به خصوص آنها که به دنبال اعمال اراده و قدرت خود بر دیگر کشورها می باشند از همین دریچه به مقوله انرژی می نگرند.

سوخت های فسیلی مانند ذغال سنگ، مقدار قابل توجهی از انواع آلاینده ها همانند ترکیبات کربن و گوگرد را وارد محیط زیست می سازند که برای سلامت انسان زیانبار است. از سوی دیگر با توجه به افزایش مصرف برق و پایان پذیر بودن منابع سوخت فسیلی به نظر می رسد استفاده از انرژی هسته ای بهترین گزینه موجود باشد. ایران ۳۰ هزار مگاوات نیروگاه دارد و در ده سال آینده، احتمالاً به ۶۰ هزار مگاوات خواهد رسید. بالا رفتن حجم تولید گازهای گلخانه ای، هزینه های اجتماعی خاصی را ایجاد می کند که بالطبع باید جلوی تولید گازهای گلخانه ای را در نیروگاههای فسیلی گرفت،

در حال حاضر روسیه ۸ میلیون بشکه نفت در روز تولید و حدود ۵ میلیون از آن را صادر می کند. ۳۰ نیروگاه هسته ای دارد و به سرعت هم به نیروگاههای خود اضافه می کند، در حالی که اولین کشور در ذخایر گازی است و جمعیت آن هم تنها کمی بیشتر از دو برابر ماست.

در این شرایط آمریکا هم ۱۰۵ نیروگاه هسته ای دارد، لذا فقط معیارهای اقتصادی هم مطرح نیست و معیارهای مختلف فن آوری تأثیر گذار خواهد بود. در واقع تکنولوژی هسته ای، میعاد گاه تکنولوژی های دیگر است. مثل صنعت خودرو که اگر در یک کشور رونق خوبی داشته باشد، تقریباً بخش عمده ای از تکنولوژی را جلو می برد، چرا که بیشتر علوم و تکنولوژی ها مثل مکانیک، شیمی، مواد، برق و...

صنعت غنی سازی هم عمر کمی ندارد و دست کم ۴۰ سال است که این کار شروع شده است.

چون در غنی سازی اورانیوم جهت استفاده در راکتورهای هسته ای از علوم مختلف مهندسی، مکانیک، شیمی و... با نهایت دقت و قدرت استفاده می شود. به طور کلی تعریف جدید مهندسی براساس میزان دقت است و کشوری پیشرفته نامیده می شود که میزان خطای مهندسی آن کم باشد.

برای رسیدن به استقلال واقعی، باید به سمت تولید فن آوری و علم رفت. البته این روند بالطبع هزینه دارد. همه جای دنیا هم، این گونه است. به هر حال هزینه رسیدن به تکنولوژی هسته ای با این همه عظمت، کار و فعالیت همه جانبه متخصصین ایرانی و استفاده از تجربه کشورهای دارنده این صنعت را طلب می کند.

مقوله انرژی برای کشورهای سلطه طلب، نقش موتور محرکه اقتصاد و تولید ملی و تعیین کننده جایگاه آنها در نظام سرمایه داری جهان را دارد و همچنین تضمین کننده منافع و امنیت ملی آنها است، برای کشور ما نیز



چگونگی سامان دهی به سیاستهای بخش انرژی، نقش کلیدی در فرآیند تحولات سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را داراست و لذا ضروری است که برای انرژی و بخصوص نفت و گاز و به دنبال اینها انرژی هسته ای، برنامه و استراتژی اندیشیده و متناسب با شرایط واقعی موجود داخلی و جهانی داشته باشیم.

دغدغه اصلی جهان عادت کرده به مصرف انرژی، در دو دهه آینده، تولید انرژی و ساخت نیروگاه اتمی به عنوان تنها راه خروج از بحران انرژی در دهه های آینده است. در این بین از آن جا که ساخت یک نیروگاه اتمی اغلب علوم و فنون را به کار می گیرد، نیروگاه برق اتمی، اقتصادی ترین نیروگاهی است که امروز در دنیا احداث می شود.

انرژی هسته ای در زمینه های مختلف پزشکی، موزه ها، شناسایی کوچکترین شکاف یا ناخالصی در مواد و موتور هواپیما و اتومبیل، پیشگیری از فساد زودرس محصولات کشاورزی و رشد گیاهان کاربرد دارد.

علم طب شناخت خود را جهت درمان و پیشگیری از بیماری اشعه وسعت داد و همزمان از اشعه به صور مختلف در تشخیص و درمان بیماری ها از جمله سرطان استفاده کرد. رادیوتراپی جایگاه ویژه در درمان سرطان ها پیدا کرد و طب هسته به عنوان یک رشته تخصصی در پزشکی روز وارد شد

پزشکی هسته ای :

تصویر برداری در پزشکی هسته ای

توموگرافی تابش پوزیترون (PET)

(SPECT) توموروگرافی با استفاده از تابش تک فوتون

تصویر برداری قلبی عروقی

اسکن استخوان

پزشکی هسته ای و درمان بیماریها

یکی از روشهای تشخیصی و درمانی ارزشمند در طب، پزشکی هسته ای می باشد. که تبلور آن از ابتدا تا کنون تلفیقی از کشفیات مهم تاریخی بوده است

اولین استفاده کلینیکی مواد رادیواکتیو، در سال 1937 جهت درمان لوسمی در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی بود. بعد از آن در 1946 با استفاده از این مواد توانستند در یک بیمار مبتلا به سرطان تیروئید از



پیشرفت این بیماری جلوگیری کنند.

در دهه 1970 توانستند با جاروب نمودن از ارگانهای دیگر بدن مانند کبد و طحال، تومورهای مغزی و مجاری گوارشی تصاویری را تهیه نمایند.

در دهه 1980 از رادیو داروها جهت تشخیص بیماری های قلبی استفاده نمودند و هم اکنون نیز با ضریب اطمینان بسیار بالایی از پزشکی هسته ای در درمان و تشخیص و پیگیری روند درمان بیماریها استفاده می گردد.

انرژی هسته ای کاربرداری زیاد در پزشکی در علوم و صنعت و کشاورزی و... دارد. لازم به ذکر است انرژی هسته ای به تمامی انرژی های دیگر قابل تبدیل است ولی هیچ انرژی به انرژی هسته ای تبدیل نمی شود. موارد زیادی از کاربردهای انرژی هسته ای در زیر آورده می شود .

نیروگاه هسته ای (Nuclear Power Station) :

یک نیروگاه الکتریکی که از انرژی تولیدی شکست هسته اتم اورانیوم یا پلوتونیم استفاده می کند. چون شکست سوخت هسته ای اساساً گرما تولید می کند از گرمای تولید شده رآکتور های هسته ای برای تولید بخار استفاده می شود از بخار تولید شده برای به حرکت در آوردن توربین ها و ژنراتور ها که نهایتاً برای تولید برق استفاده می شود .

پیل هسته ای یا اتمی دستگاه تبدیل کننده انرژی اتمی به جریان برق مستقیم است ساده ترین پیل ها شامل دو صفحه است. یک پخش کننده بتای خالص مثل استرنتیوم 90 و یک هادی مثل سیلیسیوم.

کاربردهای پزشکی:

در پزشکی تشعشعات هسته ای کاربردهای زیادی دارند که اهم آنها عبارتند از:

- رادیو گرافی
- گامااسکن
- استرلیزه کردن هسته ای و میکروب زدایی وسایل پزشکی با پرتو های هسته ای
- رادیو بیولوژی

کاربرد انرژی هسته ای در بخش دامپزشکی و دامپروری :



تکنیکهای هسته ای در حوزه دامپزشکی موارد مصرفی چون تشخیص و درمان بیماریهای دامی ، تولید مثل دام ، اصلاح نژاد و دام ، تغذیه ، بهداشت و ایمن سازی محصولات دامی و خوراک دام دارد.

کاربرد انرژی هسته ای در دسترسی به منابع آب :

تکنیکهای هسته ای برای شناسایی حوزه های آب زیر زمینی هدایت آبهای سطحی و زیر زمینی ، کشف و کنترل نشت و ایمنی سدها مورد استفاده قرار میگیرد. در شیرین کردن آبهای شور نیز انرژی هسته ای کاربرد دارد.

کاربردهای کشاورزی:

تشعشعات هسته ای کاربرد های زیادی در کشاورزی دارد که مهم ترین آنها عبارتست از:

- موتاسیون هسته ای ژن ها در کشاورزی
- کنترل حشرات با تشعشعات هسته ای
- جلوگیری از جوانه زدن سیب زمینی با اشعه گاما
- انبار کردن میوه ها
- دیرینه شناسی (باستان شناسی) و صخره شناسی (زمین شناسی) که عمر یابی صخره ها با C14 در باستان شناسی خیلی مشهور است

کاربردهای صنعتی:

در صنعت کاربردهای زیادی دارد از جمله مهمترین آنها عبارتند از:

- نشت یابی با اشعه
- دبی سنجی پرتویی (سنجش شدت تشعشعات ، نور و فیزیک امواج)
- سنجش پرتویی میزان سائیدگی قطعات در حین کار
- سنجش پرتویی میزان خوردگی قطعات
- چگالی سنج مواد معدنی با اشعه
- کشف عناصر نایاب در معادن



تکنیکهای هسته ای بر کشف مینهای ضد نفر نیز کاربرد دارد. بنابراین ، دانش هسته ای با این قدرت و وسعتی که دارد، هر روز بر دامنه استفاده از فناوری هسته ای و بویژه انرژی هسته ای افزوده می شود. کاربرد انرژی در بخشهای مختلف به گونهای است که اگر کشوری فناوری هسته ای را نهادینه نماید، در بسیاری از حوزه های علمی و صنعتی ، ارتقای پیدا می کند و مسیر توسعه را با سرعت طی می نماید.

انرژی هسته ای در پزشکی هسته ای و امور بهداشتی:

در کشورهای پیشرفته صنعتی ، از انرژی هسته ای به صورت گسترده در پزشکی استفاده می گردد. با توجه به شیوع برخی از بیماریها از جمله سرطان ، ضرورت تقویت طب هسته ای در کشورهای در حال توسعه ، هر روز بیشتر می شود. موارد زیر از مصادیق تکنیکهای هسته ای در علم پزشکی است:

تهیه و تولید کیت های رادیو دارویی جهت مراکز پزشکی هسته ای

تهیه و تولید رادیو دارویی جهت تشخیص بیماری تیروئید و درمان آنها

تهیه و تولید کیت های هورمونی

تشخیص و درمان سرطان پروستات

تشخیص سرطان کولون ، روده کوچک و برخی سرطانهای سینه

تشخیص تومورهای سرطانی و بررسی تومورهای مغزی ، سینه و ناراحتی وریدی

تصویر برداری بیماریهای قلبی ، تشخیص عفونتها و التهاب مفصلی ، آمبولی و لخته های وریدی

موارد دیگری چون تشخیص کم خونی ، کنترل رادیو داروهای خوراکی و تزریقی

کاربرد انرژی هسته ای در تولید برق :

یکی از مهم ترین موارد استفاده صلح آمیز از انرژی هسته ای ، تولید برق از طریق نیروگاههای اتمی است. با توم به پایان پذیر بودن منابع فسیلی و روند رو به رشد توسعه اجتماعی و اقتصادی ، استفاده از انرژی هسته ای برای تولید برق را امری ضروری و لازم می دانند و ساخت چند نیروگاه اتمی را دنبال مینمایند.

ایران هر ساله حدودا به هفت هزار مگاوات برق در سال نیاز دارد. نیروگاه اتمی بوشهر 1000 مگاوات برق را در صورت راه اندازی تامین می نماید. و احداث نیروگاههای دیگر برای رفع این نیازی ضروری است. برای تولید



میزان برق حدود 190 میلیون بشکه نفت خام مصرف می شود. که در صورت تامین از طریق انرژی هسته ای سالانه 5 میلیارد دلار صرفه جویی خواهد شد.

برتری انرژی هسته ای بر سایر انرژیها:

علاوه بر صرفه اقتصادی دلایل زیر استفاده از انرژی هسته ای را ضروری مینماید. منابع فسیلی محدود بوده و متعلق به نسلهای آتی میباشد. استفاده از نفت خام در صنایع تبدیل پتروشیمی ارزش بیشتری دارد. تولید برق از طریق نیروگاه اتمی، آلودگی نیروگاههای کنونی را ندارد. تولید هفت هزار مگاوات با مصرف 190 میلیون شبکه نفت خام، هزارتن دیاکسید کربن، 150 تن ذرات معلق در هوا، 130 تن گوگرد و 50 تن اکسید نیتروژن را در محیط زیست پراکنده می کند، در حالی که نیروگاه اتمی چنین آلودگی را ندارد. ساختار نیروگاه های اتمی جهان و نیز شرح مختصری درباره طرز غنی سازی اورانیوم مطالبی در مورد ساختار نیروگاه های اتمی جهان و نیز شرح مختصری درباره طرز غنی سازی اورانیوم و یا سنتز

عنصر پلوتونیوم :

برحسب نظریه اتمی عنصر عبارت است از یک جسم خالص ساده که با روش های شیمیایی نمی توان آن را تفکیک کرد. از ترکیب عناصر با یکدیگر اجسام مرکب به وجود می آیند. تعداد عناصر شناخته شده در طبیعت حدود ۹۲ عنصر است. هیدروژن اولین و ساده ترین عنصر و پس از آن هلیوم، کربن، ازت، اکسیژن و... فلزات روی، مس، آهن، نیکل و... و بالاخره آخرین عنصر طبیعی به شماره ۹۲، عنصر اورانیوم است. بشر توانسته است به طور مصنوعی و به کمک واکنش های هسته ای در راکتورهای اتمی و یا به کمک شتاب دهنده های قوی بیش از ۲۰ عنصر دیگر بسازد که تمام آن ها ناپایدارند و عمر کوتاه دارند و به سرعت با انتشار پرتوهای تخریب می شوند. اتم های یک عنصر از اجتماع ذرات بنیادی به نام پرتون، نوترون و الکترون تشکیل یافته اند. پرتون بار مثبت و الکترون بار منفی و نوترون فاقد بار است.

تعداد پرتون ها نام و محل قرار گرفتن عنصر را در جدول تناوبی (جدول مندلیف) مشخص می کند. اتم هیدروژن یک پرتون دارد و در خانه شماره ۱ جدول و اتم هلیوم در خانه شماره ۲، اتم سدیم در خانه شماره ۱۱ و... و اتم اورانیوم در خانه شماره ۹۲ قرار دارد. یعنی دارای ۹۲ پرتون است.



ایزوتوپ های اورانیوم

تعداد نوترون ها در اتم های مختلف یک عنصر همواره یکسان نیست که برای مشخص کردن آنها از کلمه ایزوتوپ استفاده می شود.

بنابراین اتم های مختلف یک عنصر را ایزوتوپ می گویند. مثلاً عنصر هیدروژن سه ایزوتوپ دارد: هیدروژن معمولی که فقط یک پروتون دارد و فاقد نوترون است. هیدروژن سنگین یک پروتون و یک نوترون دارد که به آن دوتریم گویند و نهایتاً تریتیم که از دو نوترون و یک پروتون تشکیل شده و ناپایدار است و طی زمان تجزیه می شود.

ایزوتوپ سنگین هیدروژن یعنی دوتریم در نیروگاه های اتمی کاربرد دارد و از الکترولیز آب به دست می آید. در جنگ دوم جهانی آلمانی ها برای ساختن نیروگاه اتمی و تهیه بمب اتمی در سوئد و نروژ مقادیر بسیار زیادی آب سنگین تهیه کرده بودند که انگلیسی ها متوجه منظور آلمانی ها شده و مخازن و دستگاه های الکترولیز آنها را نابود کردند.

غالب عناصر ایزوتوپ دارند از آن جمله عنصر اورانیوم، چهار ایزوتوپ دارد که فقط دو ایزوتوپ آن به علت داشتن نیمه عمر نسبتاً بالا در طبیعت و در سنگ معدن یافت می شوند. این دو ایزوتوپ عبارتند از اورانیوم ۲۳۵ و اورانیوم ۲۳۸ که در هر دو ۹۲ پروتون وجود دارد ولی اولی ۱۴۳ و دومی ۱۴۶ نوترون دارد. اختلاف این دو فقط وجود ۳ نوترون اضافی در ایزوتوپ سنگین است ولی از نظر خواص شیمیایی این دو ایزوتوپ کاملاً یکسان هستند و برای جداسازی آنها از یکدیگر حتماً باید از خواص فیزیکی آنها یعنی اختلاف جرم ایزوتوپ ها استفاده کرد. ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ شکست پذیر است و در نیروگاه های اتمی از این خاصیت استفاده می شود و حرارت ایجاد شده در اثر این شکست را تبدیل به انرژی الکتریکی می نمایند. در واقع ورود یک نوترون به درون هسته این اتم سبب شکست آن شده و به ازای هر اتم شکسته شده ۲.۰ میلیون الکترون ولت انرژی و دو تکه شکست و تعدادی نوترون حاصل می شود که می توانند اتم های دیگر را بشکنند. بنابراین در برخی از نیروگاه ها ترجیح می دهند تا حدی این ایزوتوپ را در مخلوط طبیعی دو ایزوتوپ غنی کنند و بدین ترتیب مسئله غنی سازی اورانیوم مطرح می شود.



ساختار نیروگاه اتمی

به طور خلاصه چگونگی کارکرد نیروگاه های اتمی را بیان کرده و ساختمان درونی آنها را مورد بررسی قرار می دهیم.

طی سال های گذشته اغلب کشورها به استفاده از این نوع انرژی هسته ای تمایل داشتند و حتی دولت ایران ۱۵ نیروگاه اتمی به کشورهای آمریکا، فرانسه و آلمان سفارش داده بود. ولی خوشبختانه بعد از وقوع دو حادثه مهم تری میل آیلند (Three Mile Island) در ۲۸ مارس ۱۹۷۹ و فاجعه چرنوبیل (Tchernobyl) در روسیه در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶، نظر افکار عمومی نسبت به کاربرد اتم برای تولید انرژی تغییر کرد و ترس و وحشت از جنگ اتمی و به خصوص امکان تهیه بمب اتمی در جهان سوم، کشورهای غربی را موقتاً مجبور به تجدیدنظر در برنامه های اتمی خود کرد.

نیروگاه اتمی در واقع یک بمب اتمی است که به کمک میله های مهارکننده و خروج دمای درونی به وسیله مواد خنک کننده مثل آب و گاز، تحت کنترل درآمده است. اگر روزی این میله ها و یا پمپ های انتقال دهنده مواد خنک کننده وظیفه خود را درست انجام ندهند، سوانح متعددی به وجود می آید و حتی ممکن است نیروگاه نیز منفجر شود، مانند فاجعه نیروگاه چرنوبیل شوروی. یک نیروگاه اتمی متشکل از مواد مختلفی است که همه آنها نقش اساسی و مهم در تعادل و ادامه حیات آن را دارند. این مواد عبارت اند از:

۱ _ ماده سوخت متشکل از اورانیوم طبیعی، اورانیوم غنی شده، اورانیوم و پلوتونیم است.

عمل سوختن اورانیوم در داخل نیروگاه اتمی متفاوت از سوختن زغال یا هر نوع سوخت فسیلی دیگر است. در این پدیده با ورود یک نوترون کم انرژی به داخل هسته ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ عمل شکست انجام می گیرد و انرژی فراوانی تولید می کند. بعد از ورود نوترون به درون هسته اتم، ناپایداری در هسته به وجود آمده و بعد از لحظه بسیار کوتاهی هسته اتم شکسته شده و تبدیل به دوتکه شکست و تعدادی نوترون می شود. تعداد متوسط نوترون ها به ازای هر ۱۰۰ اتم شکسته شده ۲۴۷ عدد است و این نوترون ها اتم های دیگر را می شکنند و اگر کنترلی در مهار کردن تعداد آنها نباشد واکنش شکست در داخل توده اورانیوم به صورت زنجیره ای انجام می شود که در زمانی بسیار کوتاه منجر به انفجار شدیدی خواهد شد.

در واقع ورود نوترون به درون هسته اتم اورانیوم و شکسته شدن آن توام با انتشار انرژی معادل با ۲۰۰ میلیون الکترون ولت است این مقدار انرژی در سطح اتمی بسیار ناچیز ولی در مورد یک گرم از اورانیوم در حدود صدها هزار مگاوات است. که اگر به صورت زنجیره ای انجام شود، در کمتر از هزارم ثانیه مشابه بمب اتمی عمل خواهد



کرد.

اما اگر تعداد شکست ها را در توده اورانیوم و طی زمان محدود کرده به نحوی که به ازای هر شکست، اتم بعدی شکست حاصل کند شرایط یک نیروگاه اتمی به وجود می آید. به عنوان مثال نیروگاهی که دارای ۱۰ تن اورانیوم طبیعی است قدرتی معادل با ۱۰۰ مگاوات خواهد داشت و به طور متوسط ۱۰۵ گرم اورانیوم ۲۳۵ در روز در این نیروگاه شکسته می شود و همان طور که قبلاً گفته شد در اثر جذب نوترون به وسیله ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۸ اورانیوم ۲۳۹ به وجود می آمد که بعد از دو بار انتشار پرتوهای بتا (یا الکترون) به پلوتونیم ۲۳۹ تبدیل می شود که خود مانند اورانیوم ۲۳۵ شکست پذیر است. در این عمل ۷۰ گرم پلوتونیم حاصل می شود. ولی اگر نیروگاه سوژرناطور باشد و تعداد نوترون های موجود در نیروگاه زیاد باشند مقدار جذب به مراتب بیشتر از این خواهد بود و مقدار پلوتونیم های به وجود آمده از مقدار آنهایی که شکسته می شوند بیشتر خواهند بود. در چنین حالتی بعد از پیاده کردن میله های سوخت می توان پلوتونیم به وجود آمده را از اورانیوم و فرآورده های شکست را به کمک واکنش های شیمیایی بسیار ساده جدا و به منظور تهیه بمب اتمی ذخیره کرد.

۲ _ نرم کننده ها موادی هستند که برخورد نوترون های حاصل از شکست با آنها الزامی است و برای کم کردن انرژی این نوترون ها به کار می روند. زیرا احتمال واکنش شکست پی در پی به ازای نوترون های کم انرژی بیشتر می شود. آب سنگین (D2O) یا زغال سنگ (گرافیت) به عنوان نرم کننده نوترون به کار برده می شوند.

۳ _ میله های مهارکننده: این میله ها از مواد جاذب نوترون درست شده اند و وجود آنها در داخل رآکتور اتمی الزامی است و مانع افزایش ناگهانی تعداد نوترون ها در قلب رآکتور می شوند. اگر این میله ها کار اصلی خود را انجام ندهند، در زمانی کمتر از چند هزارم ثانیه قدرت رآکتور چند برابر شده و حالت انفجاری یا دیورژانس رآکتور پیش می آید. این میله ها می توانند از جنس عنصر کادمیم و یا بور باشند.

۴ _ مواد خنک کننده یا انتقال دهنده انرژی حرارتی: این مواد انرژی حاصل از شکست اورانیوم را به خارج از رآکتور انتقال داده و توربین های مولد برق را به حرکت در می آورند و پس از خنک شدن مجدداً به داخل رآکتور برمی گردند. البته مواد در مدار بسته و محدودی عمل می کنند و با خارج از محیط رآکتور تماسی ندارند. این مواد می توانند گاز CO2، آب، آب سنگین، هلیوم گازی و یا سدیم مذاب باشند.

غنی سازی اورانیوم

سنگ معدن اورانیوم موجود در طبیعت از دو ایزوتوپ ۲۳۵ به مقدار ۰/۷ درصد و اورانیوم ۲۳۸ به مقدار ۹۹/۳ درصد تشکیل شده است. سنگ معدن را ابتدا در اسید حل کرده و بعد از تخلیص فلز، اورانیوم را به صورت



ترکیب با اتم فلئور (F) و به صورت مولکول اورانیوم هکزا فلوراید UF_6 تبدیل می کنند که به حالت گازی است. سرعت متوسط مولکول های گازی با جرم مولکولی گاز نسبت عکس دارد این پدیده را گراهان در سال ۱۸۶۴ کشف کرد. از این پدیده که به نام دیفوزیون گازی مشهور است برای غنی سازی اورانیوم استفاده می کنند. در عمل اورانیوم هکزا فلوراید طبیعی گازی شکل را از ستون هایی که جدار آنها از اجسام متخلخل (خلل و فرج دار) درست شده است عبور می دهند. منافذ موجود در جسم متخلخل باید قدری بیشتر از شعاع اتمی یعنی در حدود $2/5$ انگشترم ($0/000000025$ سانتیمتر) باشد. ضریب جداسازی متناسب با اختلاف جرم مولکول ها است. روش غنی سازی اورانیوم تقریباً مطابق همین اصولی است که در اینجا گفته شد. با وجود این می توان به خوبی حدس زد که پرخرج ترین مرحله تهیه سوخت اتمی همین مرحله غنی سازی ایزوتوپ ها است زیرا از هر هزاران کیلو سنگ معدن اورانیوم ۱۴۰ کیلوگرم اورانیوم طبیعی به دست می آید که فقط یک کیلوگرم اورانیوم ۲۳۵ خالص در آن وجود دارد. برای تهیه و تغلیظ اورانیوم تا حد ۵ درصد حداقل ۲۰۰۰ برج از اجسام خلل و فرج دار با ابعاد نسبتاً بزرگ و پی در پی لازم است تا نسبت ایزوتوپ ها تا از برخی به دیگر به مقدار $0/01$ درصد تغییر پیدا کند. در نهایت موقعی که نسبت اورانیوم ۲۳۵ به اورانیوم ۲۳۸ به ۵ درصد رسید باید برای تخلیص کامل از سانتریفوژهای بسیار قوی استفاده نمود. برای ساختن نیروگاه اتمی، اورانیوم طبیعی و یا اورانیوم غنی شده بین ۱ تا ۵ درصد کافی است. ولی برای تهیه بمب اتمی حداقل ۵ تا ۶ کیلوگرم اورانیوم ۲۳۵ صددرصد خالص نیاز است. عملاً در صنایع نظامی از این روش استفاده نمی شود و بمب های اتمی را از پلوتونیوم ۲۳۹ که سنتز و تخلیص شیمیایی آن بسیار ساده تر است تهیه می کنند. عنصر اخیر را در نیروگاه های بسیار قوی می سازند که تعداد نوترون های موجود در آنها از صدها هزار میلیارد نوترون در ثانیه در سانتیمتر مربع تجاوز می کند. عملاً کلیه بمب های اتمی موجود در زراد خانه های جهان از این عنصر درست می شود. روش ساخت این عنصر در داخل نیروگاه های اتمی به صورت زیر است: ایزوتوپ های اورانیوم ۲۳۸ شکست پذیر نیستند ولی جاذب نوترون کم انرژی (نوترون حرارتی) هستند. تعدادی از نوترون های حاصل از شکست اورانیوم ۲۳۵ را جذب می کنند و تبدیل به اورانیوم ۲۳۹ می شوند. این ایزوتوپ از اورانیوم بسیار ناپایدار است و در کمتر از ده ساعت تمام اتم های به وجود آمده تخریب می شوند. در درون هسته پایدار اورانیوم ۲۳۹ یکی از نوترون ها خودبه خود به پروتون و یک الکترون تبدیل می شود. بنابراین تعداد پروتون ها یکی اضافه شده و عنصر جدید را که ۹۳ پروتون دارد نپتونیم می نامند که این عنصر نیز ناپایدار است و یکی از نوترون های آن خود به خود به پروتون تبدیل می شود و در نتیجه به تعداد پروتون ها یکی اضافه شده و عنصر



جدید که ۹۴ پروتون دارد را پلوتونیم می نامند. این تجربه طی چندین روز انجام می گیرد. چرخه سوخت هسته ای از استخراج اورانیوم تا تولید انرژی

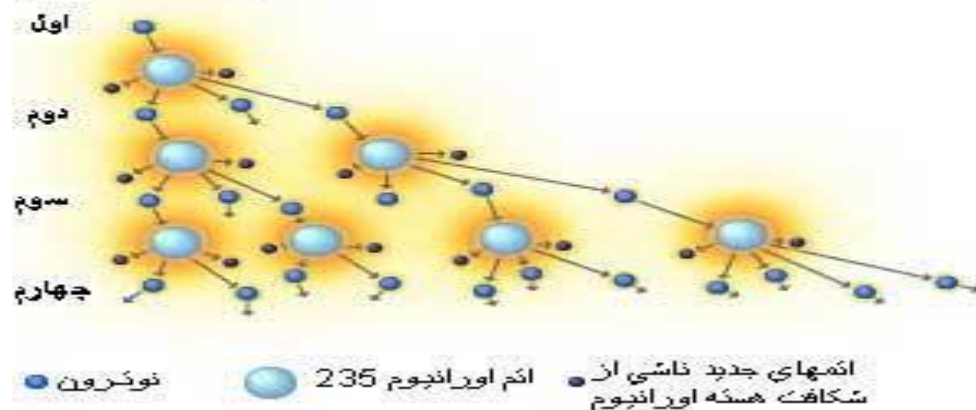


استخراج اورانیوم از معدن

اورانیوم که ماده خام اصلی مورد نیاز برای تولید انرژی در برنامه های صلح آمیز یا نظامی هسته ای است، از طریق استخراج از معادن زیرزمینی یا سر باز بدست می آید. اگر چه این عنصر بطور طبیعی در سرتاسر جهان یافت میشود اما تنها حجم کوچکی از آن بصورت متراکم در معادن موجود است. هنگامی که هسته اتم اورانیوم در یک واکنش زنجیره ای شکافته شود مقداری انرژی آزاد خواهد شد. برای شکافت هسته اتم اورانیوم، یک نوترون به هسته آن شلیک میشود و در نتیجه این فرایند، اتم مذکور به دو اتم کوچکتر تجزیه شده و تعدادی نوترون جدید نیز آزاد میشود که هر کدام به نوبه خود میتوانند هسته های جدیدی را در یک فرایند زنجیره ای تجزیه کنند.

واکنش زنجیره ای شکافت هسته

حلقه های واکنش زنجیره ای





جموع جرم اتمهای کوچکتری که از تجزیه اتم اورانیوم بدست می آید از کل جرم اولیه این اتم کمتر است و این بدان معناست که مقداری از جرم اولیه که ظاهراً ناپدید شده در واقع به انرژی تبدیل شده است، و این انرژی با استفاده از رابطه $E=MC^2$ یعنی رابطه جرم و انرژی که آلبرت اینشتین نخستین بار آنرا کشف کرد قابل محاسبه است.

اورانیوم به صورت دو ایزوتوپ مختلف در طبیعت یافت میشود. یعنی اورانیوم ^{235}U یا ^{238}U که هر دو دارای تعداد پروتون یکسانی بوده و تنها تفاوتشان در سه نوترون اضافه ای است که در هسته ^{238}U وجود دارد. اعداد 235 و 238 بیانگر مجموع تعداد پروتونها و نوترونها در هسته هر کدام از این دو ایزوتوپ است.

کشورهای اصلی تولید کننده اورانیوم

استرالیا

چین

کانادا

قزاقستان

نامیبیا

نیجر

روسیه

ازبکستان

برای بدست آوردن بالاترین بازدهی در فرایند زنجیره ای شکافت هسته باید از اورانیوم 235 استفاده کرد که هسته آن به سادگی شکافته میشود. هنگامی که این نوع اورانیوم به اتمهای کوچکتر تجزیه میشود علاوه بر آزاد شدن مقداری انرژی حرارتی دو یا سه نوترون جدید نیز رها میشود که در صورت برخورد با اتمهای جدید اورانیوم بازهم انرژی حرارتی بیشتر و نوترونهای جدید آزاد میشود.

اما بدلیل "نیمه عمر" کوتاه اورانیوم 235 و فروپاشی سریع آن، این ایزوتوپ در طبیعت بسیار نادر است بطوری که از هر ۱۰۰۰ اتم اورانیوم موجود در طبیعت تنها هفت اتم از نوع ^{235}U بوده و مابقی از نوع سنگینتر ^{238}U است.



فراوری:

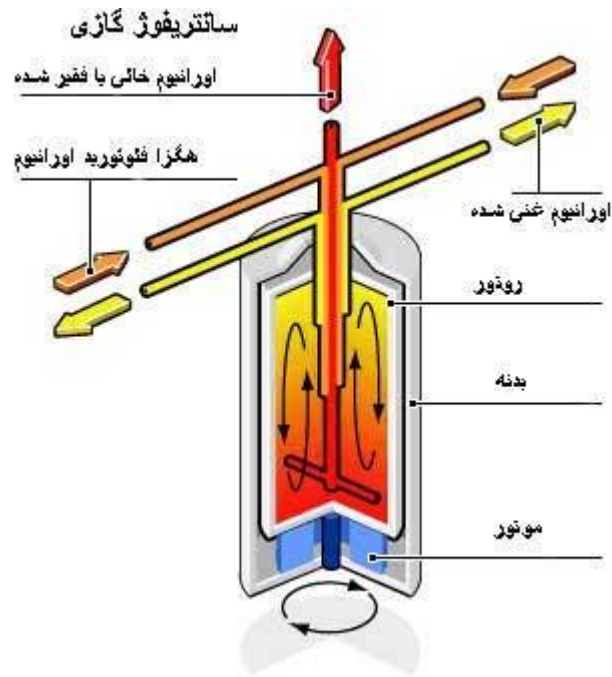
سنگ معدن اورانیوم بعد از استخراج، در آسیابهای خرد و به گردی نرم تبدیل میشود. گرد بدست آمده سپس در یک فرایند شیمیائی به ماده جامد زرد رنگی تبدیل میشود که به کیک زرد موسوم است. کیک زرد دارای خاصیت رادیو اکتیویته است و ۶۰ تا ۷۰ درصد آنرا اورانیوم تشکیل میدهد. دانشمندان هسته ای برای دست یابی هرچه بیشتر به ایزوتوپ نادر ^{235}U که در تولید انرژی هسته ای نقشی کلیدی دارد، از روشی موسوم به غنی سازی استفاده می کنند. برای این کار، دانشمندان ابتدا کیک زرد را طی فرایندی شیمیائی به ماده جامدی به نام هگزا فلورئورید اورانیوم تبدیل میکنند که بعد از حرارت داده شدن در دمای حدود ۶۴ درجه سانتیگراد به گاز تبدیل میشود.



باید این گاز را دور از معرض روغن و مواد چرب کننده دیگر نگهداری کرد.

غنی سازی:

هدف از غنی سازی تولید اورانیومی است که دارای درصد بالایی از ایزوتوپ ^{235}U باشد. اورانیوم مورد استفاده در راکتورهای اتمی باید به حدی غنی شود که حاوی ۲ تا ۳ درصد اورانیوم 235 باشد، در حالی که اورانیومی که در ساخت بمب اتمی بکار میرود حداقل باید حاوی ۹۰ درصد اورانیوم 235 باشد. یکی از روشهای معمول غنی سازی استفاده از دستگاههای سانتریفوژ گاز است. سانتریفوژ از اتاقکی سیلندری شکل تشکیل شده که با سرعت بسیار زیاد حول محور خود می چرخد. هنگامی که گاز هگزا فلورئورید اورانیوم به داخل این سیلندر دمیده شود نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش آن باعث میشود که مولکولهای سبکتری که حاوی اورانیوم 235 است در مرکز سیلندر متمرکز شوند و مولکولهای سنگینتری که حاوی اورانیوم 238 هستند در پایین سیلندر انباشته شوند.



یک زرد دارای خاصیت رادیو اکتیویته است و ۶۰ تا ۷۰ درصد آنرا اورانیوم تشکیل میدهد هگزا فلئوئورید اورانیوم که در صنعت با نام ساده هگز شناخته میشود ماده شیمیائی خورنده ایست که باید آنرا با احتیاط نگهداری و جابجا کرد. به همین دلیل پمپها و لوله هائی که برای انتقال این گاز در تاسیسات فراوری اورانیوم بکار میروند باید از آلومینیوم و آلیاژهای نیکل ساخته شوند. همچنین به منظور پیشگیری از هرگونه واکنش شیمیایی برگشت ناپذیر اورانیوم ۲۳۵ غنی شده ای که از این طریق بدست می آید سپس به داخل سانتریفوژ دیگری دمیده میشود تا درجه خلوص آن باز هم بالاتر رود. این عمل بارها و بارها توسط سانتریفوژهای متعددی که بطور سری به یکدیگر متصل میشوند تکرار میشود تا جایی که اورانیوم ۲۳۵ با درصد خلوص مورد نیاز بدست آید.

آنچه که پس از جدا سازی اورانیوم ۲۳۵ باقی میماند به نام اورانیوم خالی یا فقیر شده شناخته میشود که اساسا از اورانیوم ۲۳۸ تشکیل یافته است. اورانیوم خالی فلز بسیار سنگینی است که اندکی خاصیت رادیو اکتیویته دارد و از آن برای ساخت گلوله های توپ ضد زره پوش و اجزای برخی جنگ افزار های دیگر از جمله منعکس کننده نوترونی در بمب اتمی استفاده میشود.

یک شیوه دیگر غنی سازی روشی موسوم به دیفیوژن یا روش انتشاری است. در این روش گاز هگزا فلئوئورید اورانیوم به داخل ستونهایی که جدار آنها از اجسام متخلخل تشکیل شده دمیده میشود. سوراخهای موجود در جسم متخلخل باید قدری از قطر مولکول هگزا فلئوئورید اورانیوم بزرگتر باشد.



در نتیجه این کار مولکولهای سبکتر حاوی اورانیوم ۲۳۵ با سرعت بیشتری در این ستونها منتشر شده و تفکیک میشوند. این روش غنی سازی نیز باید مانند روش سانتریفوژ بارها و باره تکرار شود.

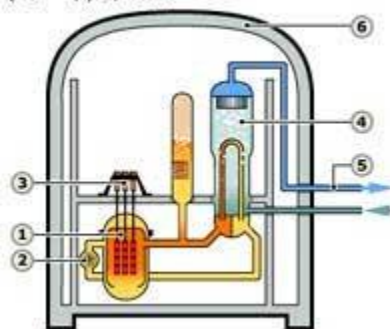
راکتور هسته ای:

راکتور هسته ای وسیله ایست که در آن فرایند شکافت هسته ای بصورت کنترل شده انجام میگردد. انرژی حرارتی بدست آمده از این طریق را می توان برای بخار کردن آب و به گردش درآوردن توربین های بخار ژنراتورهای الکتریکی مورد استفاده قرار داد.

اورانیوم غنی شده ، معمولا به صورت قرصهائی که سطح مقطعشان به اندازه یک سکه معمولی و ضخامتشان در حدود دو و نیم سانتیمتر است در راکتورها به مصرف میرسند. این قرصها روی هم قرار داده شده و میله هایی را تشکیل میدهند که به میله سوخت موسوم است. میله های سوخت سپس در بسته های چندتائی دسته بندی شده و تحت فشار و در محیطی عایق بندی شده نگهداری میشوند.

در بسیاری از نیروگاهها برای جلوگیری از گرم شدن بسته های سوخت در داخل راکتور، این بسته ها را داخل آب سرد فرو می برند. در نیروگاههای دیگر برای خنک نگه داشتن هسته راکتور ، یعنی جائی که فرایند شکافت هسته ای در آن رخ میدهد ، از فلز مایع (سدیم) یا گاز دی اکسید کربن استفاده می شود.

راکتور آبی (آب فشرده)



1- هسته راکتور

2- پمپ خنک کننده

3- میله های سوخت

4- مولد بخار

5- هدایت بخار به داخل توربین مولد برق



برای تولید انرژی گرمائی از طریق فرایند شکافت هسته ای ، اورانیومی که در هسته راکتور قرار داده میشود باید از جرم بحرانی بیشتر (فوق بحرانی) باشد. یعنی اورانیوم مورد استفاده باید به حدی غنی شده باشد که امکان آغاز یک واکنش زنجیره ای مداوم وجود داشته باشد.

برای تنظیم و کنترل فرایند شکافت هسته ای در یک راکتور از میله های کنترلی که معمولا از جنس کادمیوم است استفاده میشود. این میله ها با جذب نوترونهای آزاد در داخل راکتور از تسریع واکنشهای زنجیره ای جلوگیری میکند. زیرا با کاهش تعداد نوترونها ، تعداد واکنشهای زنجیره ای نیز کاهش میابد.

حدودا ۴۰۰ نیروگاه هسته ای در سرتاسر جهان فعال هستند که تقریبا ۱۷ درصد کل برق مصرفی در جهان را تامین میکنند. از جمله کاربردهای دیگر راکتورهای هسته ای، تولید نیروی محرکه لازم برای جابجایی ناوها و زیردریایی های اتمی است.

بازفرآوری:

برای بازیافت اورانیوم از سوخت هسته ای مصرف شده در راکتور از عملیات شیمیایی موسوم به بازفرآوری استفاده میشود. در این عملیات، ابتدا پوسته فلزی میله های سوخت مصرف شده را جدا میسازند و سپس آنها را در داخل اسید نیتریک داغ حل میکنند.



در نتیجه این عملیات، ۱٪ پلوتونیوم ، ۳٪ مواد زائد به شدت رادیوآکتیو و ۹۶٪ اورانیوم بدست می آید که دوباره میتوان آنها را در راکتور به مصرف رساند.

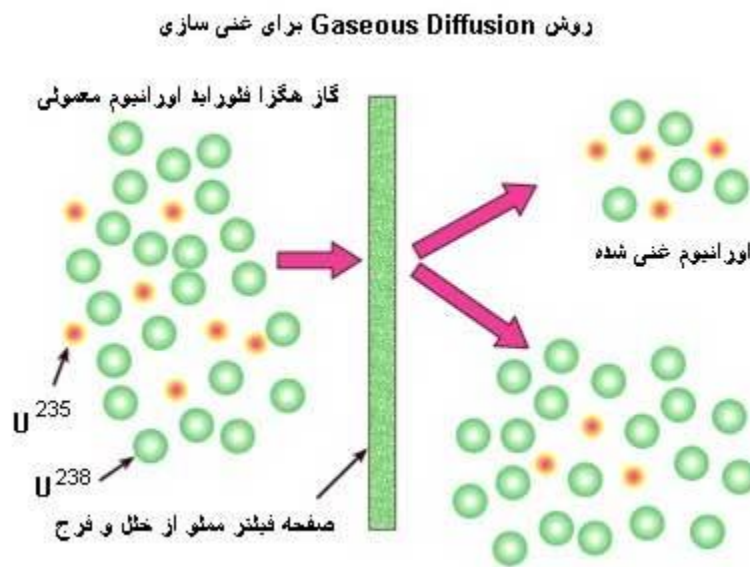
راکتورهای نظامی این کار را بطور بسیار موثرتری انجام میدهند. راکتور و تاسیسات باز فرآوری مورد نیاز برای تولید پلوتونیوم را میتوان بطور پنهانی در داخل ساختمانهای معمولی جاسازی کرد. به همین دلیل، تولید پلوتونیوم به این طریق، برای هر کشوری که بخواهد بطور مخفیانه تسلیحات اتمی تولید کند گزینه جذابی خواهد بود.



غنی سازی اورانیوم

سانتریفیوژ دستگاهی است که برای جدا سازی مواد از یکدیگر بر اساس وزن آنها استفاده می شود. این دستگاه مواد را با سرعت زیاد حول یک محور به گردش در می آورد و مواد متناسب با وزنی که دارند از محور فاصله می گیرند.

در واقع در این روش برای جدا سازی مواد از یکدیگر از شتاب ناشی از نیروی گریز از مرکز استفاده می گردد، کاربرد عمومی این دستگاه برای جداسازی مایع از مایع و یا مایع از جامد است. سانتریفیوژ هایی که برای غنی سازی اورانیوم استفاده می شود حالت خاصی دارند که برای گاز تهیه شده اند که به آنها Hyper-Centrifuge گفته می شود. پیش از آنکه دانشمندان از این روش برای غنی سازی اورانیوم استفاده کنند از تکنولوژی خاصی بنام Gaseous Diffusion به معنی پخش و توزیع گازی استفاده می کردند.



Gaseous Diffusion

در روش Gaseous Diffusion، گاز هگزا فلوراید اورانیوم (UF₆) را با سرعت از صفحات خاصی که حالت --- دارند عبور داده می شود و طی آن این صفحات می توانند به دلیل داشتن منافذ و خلل و فرج زیاد تا حدی می توانند اوانیوم 235 را از 238 جدا کنند. (به شکل بالا دقت کنید)



در این روش با تکرار استفاده از این صفحات ----- مانند، بصورت آبشاری (Cascade)، میزان اورانیوم 235 را به مقدار دلخواه بالا می بردند. این روش اولین راهکارهای صنعتی برای غنی سازی اورانیوم بود که کاربرد عملی پیدا کرد.

Gaseous Diffusion از جمله تکنولوژی هایی بود که ایالات متحده طی جنگ جهانی دوم در پروژه ای بنام منهن (Manhattan) برای ساخت بمب هسته ای، با کمک انگلیس و کانادا به آن دست پیدا کرد.

نمونه ای از سانتریفیوژهای گازی آبشاری که برای غنی سازی اورانیوم از آنها استفاده می شود. Hyper-Centrifuge

اما در روش استفاده از سانتریفیوژ برای غنی سازی اورانیوم، تعداد بسیار زیادی از این دستگاهها بصورت سری و موازی بکار می برند تا با کمک آن بتوانند غلظت اورانیوم 235 را افزایش دهند.

گاز هگزافلوراید اورانیوم (UF₆) در داخل سیلندرهای سانتریفیوژ تزریق می شود و با سرعت زیاد به گردش در آورده می گردد. گردش سریع سیلندر، نیروی گریز از مرکز بسیار قوی ای تولید می کند و طی آن مولکولهای سنگین تر (آنهايي که شامل ایزوتوپ اورانیوم 238 هستند) از مرکز محور گردش دور تر می گردند و برعکس آنها که مولکول های سبک تری دارند (حاوی ایزوتوپ اورانیوم 235) بیشتر حول محور سانتریفیوژ قرار می گیرند.

در این هنگام با استفاده از روشهای خاص گازی که حول محور جمع شده است جمع آوری شده به مرحله دیگر یعنی دستگاه سانتریفیوژ بعدی هدایت می گردد. میزان گاز هگزافلوراید اورانیوم شامل اورانیوم 235 ای که در این روش از یک واحد جداسازی بدست می آید به مراتب بیشتر از مقداری است که در روش قبلی (Gaseous Diffusion) بدست می آید، به همین علت است که امروزه در بیشتر نقاط جهان برای غنی سازی اورانیوم از این روش استفاده می کنند.

بزرگترین دستگاههای آبشاری سانتریفیوژ در کشورهایی مانند فرانسه، آلمان، انگلستان و چین در حال غنی سازی اورانیوم هستند. این کشورها علاوه بر مصرف داخلی به صادرات اورانیوم غنی شده نیز می پردازند. کشور ژاپن هم دارای دستگاههای بزرگ سانتریفیوژ است اما تنها برای مصرف داخلی اورانیوم غنی شده تولید می کند.