مقدمه :

انرژی اتمی در دنیای امروز نقش تعیین کننده ای را داراست. با کمبود منابع سوخت فسیلی و به پایان رسیدن آنها در سالهای آینده یکی از منابع اصلی تولید انرژی نیروگاههای اتمی خواهند بود. برای درک صحیح چگونگی کارکرد این نیروگاه دانستن اطلاعات درباره اتم وساختار مواد ضروری است.

ساختار اتم :

فیزیکدان معروف آلمانی به نام بوهر بنیانگذار تئوری کوانتومی در سال ۱۹۱۳مدل اتمی ارائه کرد که هنوز هم دقیقترین مدل شناخته شده است. بر اساس این مدل اتم یک منظومه شمسی کوچک است که مرکز آن هسته با جرم زیاد و اطراف آن الکترونها با جرم کم در حال گردشند. هسته از نظر الکتریکی دارای بار مثبت و الکترونها دارای بار منفی هستند. الکترونها به وسیله نیروی جاذبه هسته در جای خود باقی می مانند. هسته خود از دو قسمت تشکیل شده است :

الف : پروتن با بار الکتریکی مثبت

ب: نوترون با بار الکتریکی خنثی

تعداد پروتونهای هسته هر اتم مشخص می سازد که این هسته وابسته به کدام عنصر است .

به عنوان مثال اتم هیدروژن دارای یک پروتون و هلیم دارای ۲ پروتون و اورانیم دارای ۹۲ پروتن است. در شرایط عادی اتمها خنثی هستند، یعنی الکترونها و پروتونها برابر هستند و اتمهای یک عنصر شبیه به هم هستند. اما گاهی با هم تفاوتهایی نیز خواهند داشت که این تفاوت در انواع نوترونهای هسته می باشد، این اتمها را ایزوتوپ می نامند.

به عنوان مثال هیدروژن دارای سه ایزوتوپ می باشد:

ایزوتروپ نوع اول : هیدروژن معمولی با یک پروتون و بدون نوترون

ایزوتروپ نوع دوم : هیدروژن دوتریم با یک پروتون و یک نوترون

ایزوتروپ نوع سوم : هیدروژن تریتیم با یک پروتن و دو نوترون

همچنین اورانیم نیز دارای ایزوتوپهای متعددی می باشد :

اورانیم ۲۳۴که دارای ۹۲ پروتون و ۱۴۲ نوترون می باشد. (U-234)

اورانیم ۲۳۵که دارای ۹۲ پروتون و ۱۴۳ نوترون می باشد. (U-235)

اورانیم ۲۳۸که دارای ۹۲ پروتون و ۱۴۶ نوترون می باشد. (U-238)

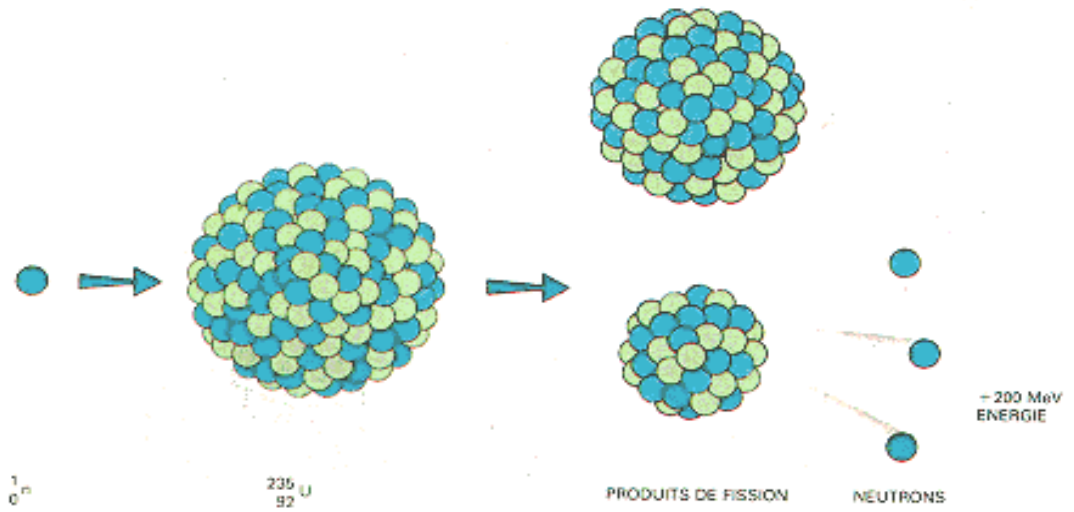
متلاشی شدن هسته ها و پدیده رادیو اکتیویته :

علیرغم اینکه در هسته ها ، بارهای مثبت در کنار هم قرار گرفته اند ولی متلاشی نمی شوند زیرا یک نیروی هسته ای بین پروتونها و نوترونها وجود دارد، اما هسته بعضی از اتمها در شرایط محیطی عادی شکسته شده و با شدت و فشار زیاد ذرات کوچکتری را به خارج پرتاب می کنند و خودتغییر شکل پیدا می کنند ، این پدیده همان رادیواکتیویته است، که توسط شخص فرانسوی به نام هانری بکرل کشف شد و به وسیله زوج دانشمند پی یر و ماری کوری مورد بررسی دقیق قرار گرفت. ماهیت این پدیده در ابتدا ناشناخته بود اما تاثیرات آن بعضا مشاهده می شد، نظیر سیاه شدن شیشه فیلم عکاسی. امروزه می دانیم که سه نوع پرتو رادیو اکتیو وجود دارد. پرتو α، پرتو βو پرتو γ. هسته بسیاری از اتمها بویژه آنهایی که خیلی سنگین و بزرگ هستند پایدار نیستند، مانند هسته اتم عنصر رادیم که با آزاد کردن پرتو α وپرتو β تبدیل به عنصر رادون می شود و هسته های دیگری که با آزاد کردن پرتو β از هم می پاشند .

پرتوزایی :

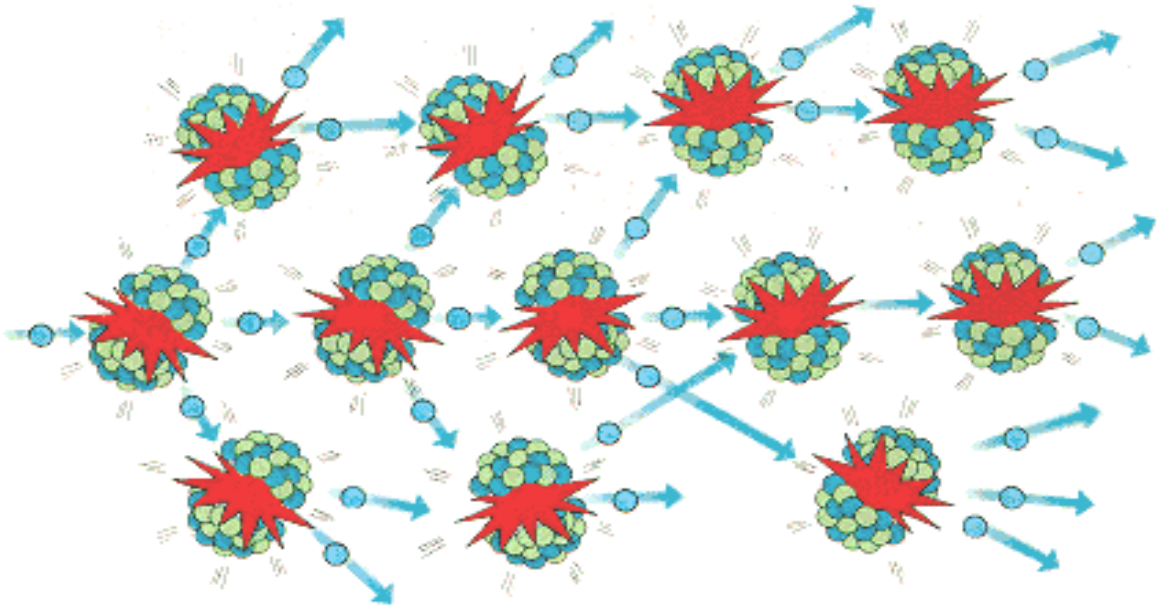
اکتیویته یک ماده رادیو اکتیو به معنای تعداد هسته هایی از آن است که در یک ثانیه فرو می پاشند. واحد اندازه گیری اکتیویته بکرل (Bq) می باشد البته قبلا کوری (Ci)بکار گرفته می شد. مطابق فرضیه انیشتن این جرم طبق رابطه $E = mc^2$ به انرژی بسیار بزرگی تبدیل می شود :

نوترون(۲) + باریم(۱۴۴) + کریپتون(۹۰) = نوترون+ هسته اورانیم



شکل ۱۷۲- برخورد نوترون با اتم اورانیوم ۲۳۵ و شکست اتم

در این حالت بخشی از انرژی که که صرف یکپارچه نگه اشتن اتم شده بود، آزاد می شود وامکان دور شدن مواد جدید را از یکدیگر فراهم می سازد. مواد جدید با سرعت بسیار زیاد به اتمهای مجاور برخورد کرده و آنها نیز به نوبه خود هسته های دیگر را می شکافند و مقدار زیادی از انرژی تولید می کنند. جمع انرژی حاصل از شکافت، به صورت یک پدیده بهمنی و واکنش زنجیره ای مقدار بسیار زیادی انرژی تولید می شود. این فعل و انفعالات درکسر بسیارکوچکی از ثانیه انجام شده و از طریق آن از یک گرم اورانیوم ۲۳۵ می توان ۲۳۰۰۰ کیلو وات ساعت انرژی بدست آورد.



شکل ۱۷۳- پدیده بهمنی و واکنش زنجیره ای

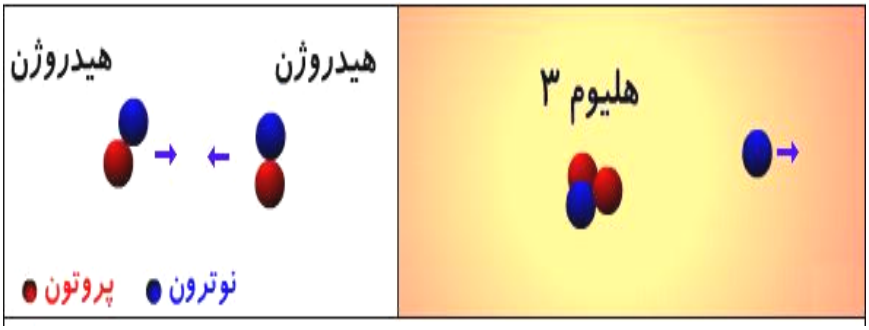
علت استفاده ازنوترونها برای شکست اتمها بدلایل زیر صورت می گیرد.

اولا نوترونها از لحاظ الکتریکی خنثی هستند و در صورت تماس با هسته با عکس العمل خاصی مواجه نمی شوند، اما پروتونها مثبت هستند و در صورت پرتاب آنها به سمت هسته دیگر، نیروی دافعه مانع برخورد می شود ، اما نوترونها خنثی هستند و مشکلی ایجاد نمی کند.

ثانیا الکترونها به علت وزن بسیار ناچیز در مقابل نوترونها و دارا بودن بار الکتریکی منفی و نیروی دافعه الکترونهای اتم مقابل، برای پرتاب مناسب نیستند.لازم بذکر است که هر چه سرعت نوترونهای پرتاب شده از یک حدی بیشتر شود ، احتمال برخورد آنها کمتر می شود و نوترونهای آرام با سرعت حدود ۲/۲ کیلومتر در ثانیه برای این منظور مناسب می باشند. سرعت کمتر از این حد نیز قابلیت شکافت را نخواهد داشت. بطور کلی انرژی هسته‌ای به ۲ روش تولید می‌شود :

۱ - شکافت هسته‌ای (Fission) : در این روش هسته یک اتم توسط یک نوترون به دو بخش کوچکتر تقسیم می‌شود. در این روش غالباً از عنصر اورانیوم استفاده می‌شود .

۲- گداخت هسته‌ای (Fusion): در این روش که در سطح خورشید هم اجرا می‌شود، معمولاً هیدروژن‌ها با برخورد به یکدیگر تبدیل به هلیوم می‌شوند و در این تبدیل، انرژی بسیار زیادی بصورت نور و گرما تولید می شود. در شکل زیر گداخت هسته‌ای اتم‌های هیدروژن و تبدیل آنها به هلیوم ۳ والکترون آزاد نمایش داده شده است.



شکل ۱۷۴- گداخت هسته ای

غنی سازی

همانطوری که قبلا گفته شد، در طبیعت اورانیم با سه ایزوتوپ U-238، U-235 و U-234 که به ترتیب دارای مقادیر ۹۹/۲۹۹ ٪ و ۰/۷ ٪ و ۰/۰۰۱ ٪ می باشند، وجود دارد. همانطوری که مشاهده می شود اورانیوم ۲۳۴ بسیار ناچیز بوده و تنها به بررسی عملکرد U-238 و U-235 پرداخته می شود. نوترونهای آرام(با سرعت ۲/۲ کیلومتر بر ثانیه) فقط می توانند هسته اورانیوم ۲۳۵ را بشکافند و در صورت برخورد با اورانیوم ۲۳۸ جذب آن می شوند. در جریان شکافت هسته اورانیوم ۲۳۵، هسته واسط اورانیوم ۲۳۶ ایجاد می شود که خود به باریم ۱۴۴ و کریپتون ۹۰ و ۲ یا ۳ نوترون تبدیل می شود.(که هسته های نیمه سنگین خود رادیو اکتیو هستند و پرتوهای بسیار خطرناکی منتشرمی سازند) بنابراین واکنش زنجیره ای در اورانیوم طبیعی اتفاق نمی افتد، زیرا همانطور که گفته شد ۳/ ۹۹ درصد اورانیوم طبیعی را U-238 تشکیل می دهد و در صورت شکافت اورانیوم ۲۳۵ و ایجاد نوترونهای آزاد شده، به علت سرعت بالای آنها و غلّت اورانیوم ۲۳۵ ، جذب اورانیوم ۲۳۸ شده و یا به سرعت از کنار هسته های اورانیوم ۲۳۵ می گذرند. لذا برای ایجاد پدیده بهمنی دو کار بایستی انجام شود.

الف : بر تعداد اورانیوم ۲۳۵ افزوده شود .

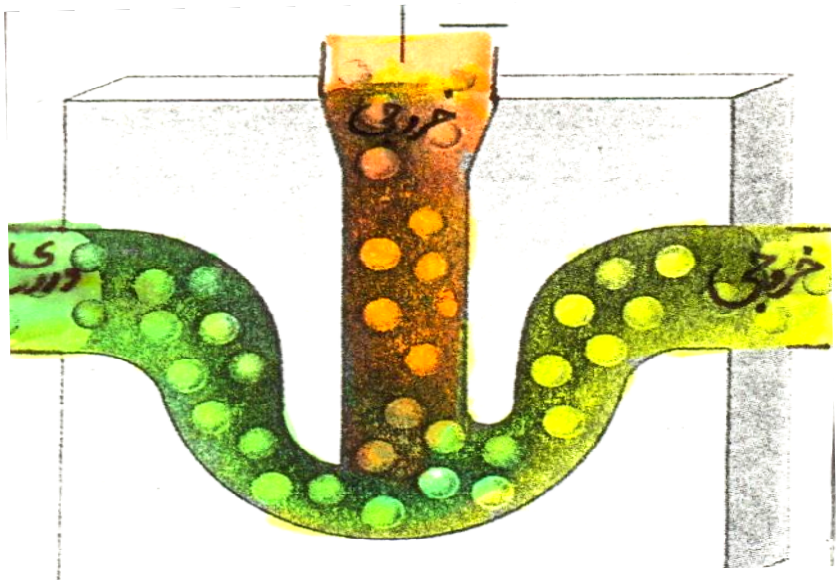
ب: سرعت نوترونهای ایجاد شده تقلیل یابد و به حد سرعت آرام برسد.

به همین منظور در سوخت نیروگاههای اتمی ، درصد اورانیوم ۲۳۵ را از ۰/۷ درصد به ۳ درصد و بالاتر می رسانند، که این روش را غنی سازی اورانیوم می گویند و برای کم کردن سرعت نوترونها از باز دارنده هایی تحت عنوان مدولاتور یا شتابگیر استفاده می کنند و سرعت نوترونها را به میزان سرعت آرام (۲/۲ کیلومتر در ثانیه) می رسانند. از جمله این مدولاتورها می توان کربن، آب و بریلیم را نام برد، به صورتی که اگر به طور مثال کربن بصورت گرافیت بین قطعات یا بلوکهای اورانیوم قرار بگیرد، سرعت حرکت آنها را کند می کند.

انواع روشهای غنی سازی

الف – روش لوله های جدا کننده

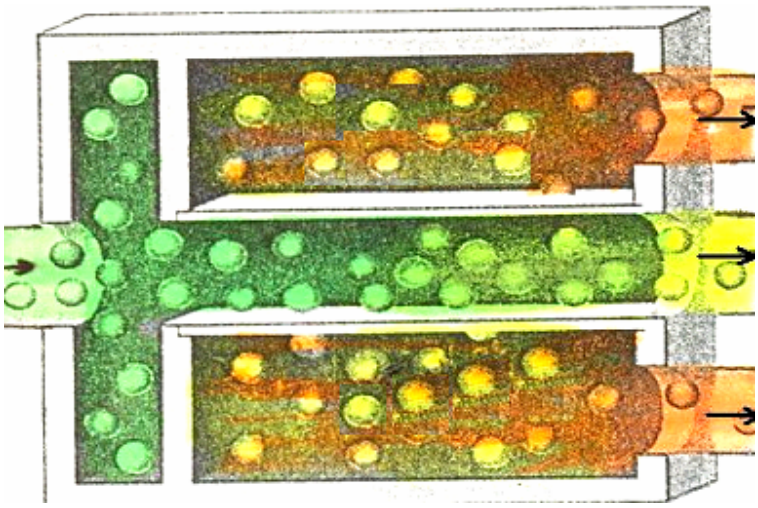
برای غنی سازی اورانیوم از تفاوت وزنی ایزوتوپهای آن استفاده می کنند. نخست اورانیوم با کمک فلوئور به گاز هگزا فلوئور اورانیـوم (UF6) تبدیل می شود و با شتاب وارد لوله های کوچکی که انحنای نیم دایرهای دارند می شوند. نیروی گریز از مرکز ایجاد شده گاز دارای اورانیوم ۲۳۸ را با شدت بیشتری به خارج می راند به نحوی که این گاز می تواند از گاز سبکتر حاوی اورانیوم ۲۳۵ جدا شود.



شکل ۱۷۵- غنی سازی با استفاده از لوله های جداکننده

ب – روش گاز افشانی

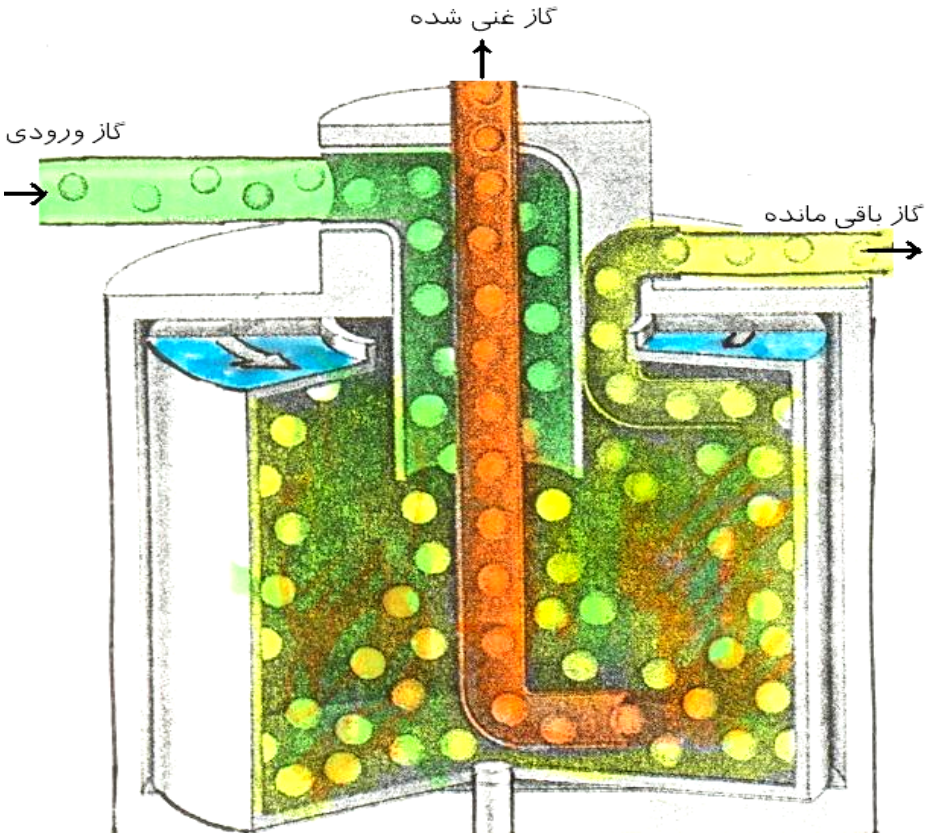
در روش گاز افشانی، گاز UF6 با فشار از غشایی عبور داده می شود. در این روش گاز سبکترحاوی اورانیوم ۲۳۵ ، سریعتر از گاز سنگینتر از منفذهای دیافراگم عبور میکند. این روش هم مانند روش قبل به طور نسبی می تواند غنی سازی را انجام دهد.



شکل ۱۷۶- غنی سازی با استفاده از روش گاز افشانی

ج – روش سانتریفوژ

گاز به داخل یک سانتریفوژ سریع وارد شده، نیروی گریز از مرکز اورانیوم سنگین تر را به سمت دیواره های دستگاه می راند بـه نحـوی کـه تمرکز اورانیوم ۲۳۵ در مرکز دستگاه افزایش می یابد. به این ترتیب جدا سازی اورانیوم ۲۳۵ از اورانیوم ۲۳۸ انجام می شـود. بـا توجـه بـه درصد بسیار پایین اورانیوم ۲۳۵، در این روش نیز برای غنی سازی مناسب واحدهای سانتریفوژ متعدد بصورت سری مورد استفاده قرار مـی گیرد.



شکل ۱۷۷- غنی سازی با استفاده از روش سانتریفوژ

نیروگاههای هسته ای (اتمی)

نقش اصلی تولید برق را در نیروگاه، بخش تولید بخار یا به عبارت دیگر بخش تولید انرژی مکانیکی (برای تبدیل آن به انرژی الکتریکـی) دارد. در نیروگاه آبی این انرژی توسط پتانسیل آب پشت سد تامین می گردد.در نیروگاه گاز این انرژی از انرژی اصل ازمحصولات اسـتخراج می شود و در نیروگاه حرارتی این انرژی از بخار آب تحت فشار بدست می آید که روشهای مختلفی برای تولید بخار وجود دارد. اسـتفاده از سوختهای فسیلی (گاز، مازوت، گازوئیل، ذغال سنگ)، انرژی هسته ای و انرژی خورشیدی حرارت لازم را برای تولید بخار ایجاد می نمایند. انرژی هسته ای در راکتورهای هسته ای که جایگزین بویلر ها شدند آزاد می گردد. در راکتورها واکنش زنجیره ای کنترل شده ایجاد شـده که طی آن تعداد هسته هایی که برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز باشد، فقط شـکافته مـی شـود. چگـونگی اسـتفاده از ایـن انـرژی و روشهای تولید بخار با استفاده از تکنیکهای مختلف صورت می گیرد که این تفاوتها باعث بوجود آمدن نیروگاههای مختلف اتمی شده است.

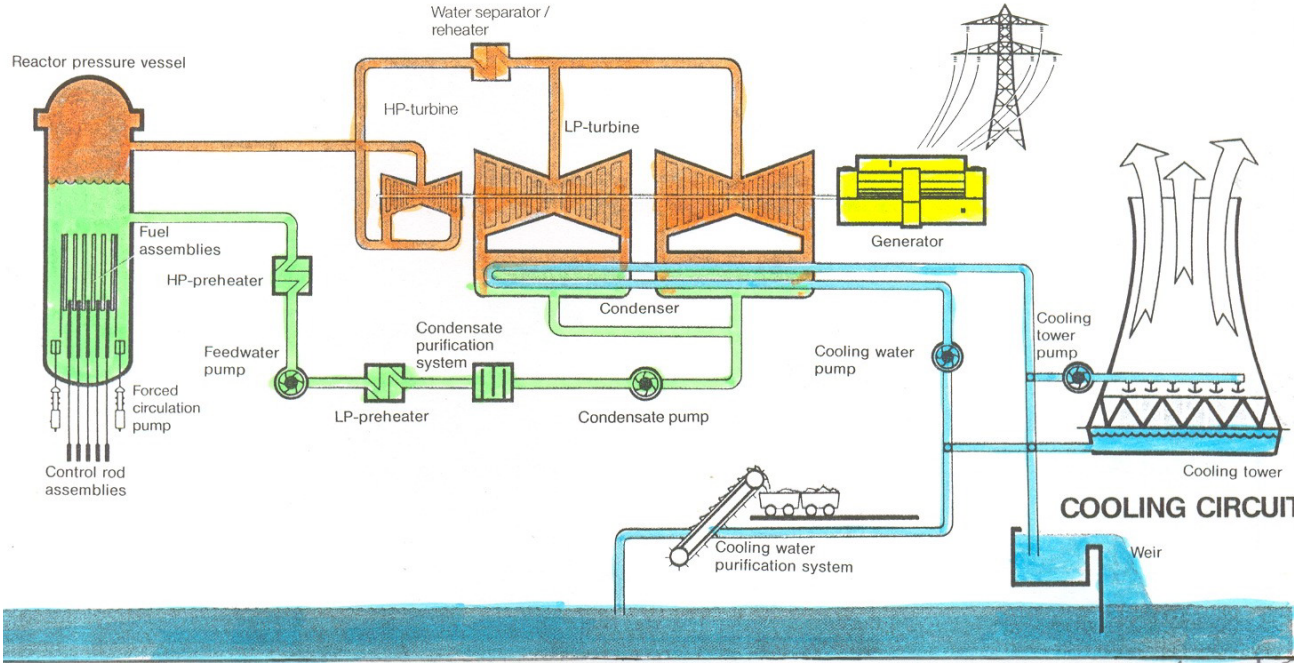
انواع نیروگاه هسته ای

۱. نیروگاه با راکتور آب جوشان (Boiling Water Reactor) :

در این نوع نیروگاهها ، راکتورها در یک دیگ پرفشار به نام Reactor Pressure Vessel، با استفاده از انرژی حاصل از شکافت هسته اورانیوم غنی شده، آب را تبدیل به بخار می نمایند. این بخار با فشاری حدود ۷۰ بار به سمت توربین فشار قـوی (HP) هـدایت شـده و مقـداری از

انرژی خود را در آنجا از دست می دهد و از آن خارج می شود. در این مرحله ضمن افت فشار درجه حرارت بخار نیز تنزل پیدا می کند که اگر با همین وضع به توربین مرحله بعدی هدایت گردد تبدیل به قطرات آب خواهد شد که می تواند سبب لرزش و حتی شکستن پرده توربین ضعیف (LP) گردد. لذا بخار خروجی توربین HP پس از گرمایش مجدد به توربین مرحله بعدی وارد می گردد.

بخار ، پس از انتقال انرژی به پره های توربین وارد کندانسور می شود و در آنجا تحت خلا در اثر تماس با لوله های خنک حاوی آب خنک کن تبدیل به آب مقطر می شود. آب مقطر بدست آمده توسط پمپهای تغذیه به سمت دیگ فشار هدایت می شود. به منظور جلوگیری از گسترش آلودگی در سیکل ، تصفیه خانه کوچکی در مسیر پمپهای تغذیه به سمت دیگ فشار ، پیش بینی می شود ، همچنین برای بالا بردن راندمان دیگ فشار ، از پیش گرمکن های متعدد در دو نوع فشار ضعیف و فشار قوی (معمولا ۴ تا ۶ عدد می باشند) نیز در این مسیر استفاده می شود. سیکل بسته دیگری نیز وجود دارد که مربوط به برج خنک کن (cooling tower) می باشد. آب مورد نیاز این سیکل از رودخانه یا دریا تامین می گردد و در این راستا حجم زیادی از آب دائما تلف خواهد شد. به عنوان مثال دریک نیروگاه ۱۵۰۰ مگاواتی در هر ثانیه حدود یک تن بخار وارد هوا می شود، که بایستی توسط رودخانه یا منبع دیگر جبران شود.



شکل ۱۷۸- سیکل نیروگاه اتمی با راکتور آب جوشان

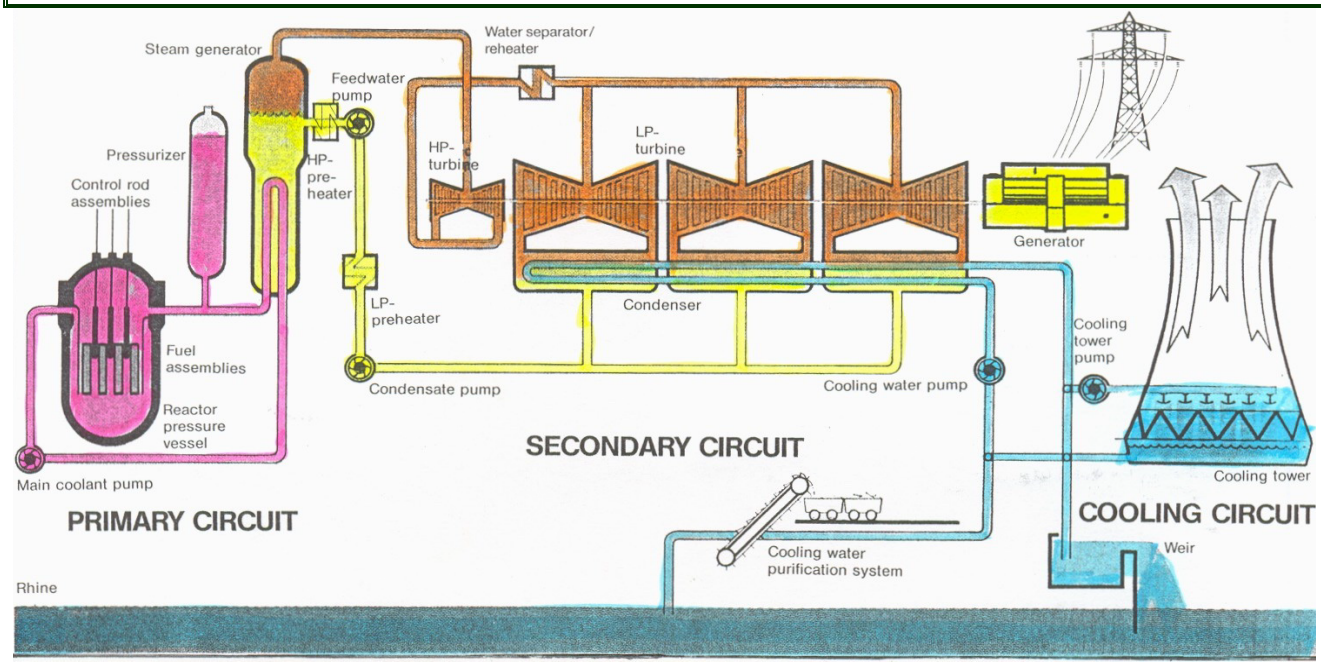
۲ . نیروگاه با آب تحت فشار(Pressurized Water Reactor) :

همانطوریکه قبلا توضیح داده شد، در راکتور آب جوشان، بخاری که وارد توربین می شد، مستقیما در راکتور تولید می گردید. اما در راکتورهای آب تحت فشار، این بخار در محفظه جداگانه تولید می شود. بدین ترتیب در این نیروگاهها ۳ سیکل بسته وجود دارد.

الف : سیکل بسته آب(یا ماده خاص دیگر) داخل راکتور

ب : سیکل آب در گردش که تبدیل به بخار می شود

ج : سیکل آب خنک کن



شکل ۱۷۹- سیکل نیروگاه اتمی با راکتور آب تحت فشار

۳ . نیروگاه با راکتور زاینده

قبلا مشاهده کردیم که هسته اتمهای اورانیوم ۲۳۸ می توانند به وسیله گرفتار ساختن نوترونها خود را به پلوتونیوم تبدیل کنند. هسته های پلوتونیوم نیز به راحتی شکافته می شوند و انرژی آزاد می کنند. در راکتورهای خود سوخت زای، از این خاصیت استفاده می شود، در این نوع راکتور، پلوتونیوم ۲۳۹ به عنوان ماده قابل شکافت به کار می رود. در هر شکافت ۲ تا ۳ نوترون آزاد شده که یکی از نوترونها برای حفظ و نگهداری واکنش زنجیره ای لازم است. تعداد دیگری از نوترونها جذب هسته اورانیوم ۲۳۸ می شوند و این هسته را پلوتونیوم ۲۳۹ یا به عبارت دیگر به سوخت تازه تبدیل می کنند و بدین ترتیب تولید سوخت تازه از این فرایند ادامه می باید و در شرایطی حتی تولید سوخت تازه بیشتر از سوخت مورد نیاز مصرفی است که بایستی کنترل گردد.

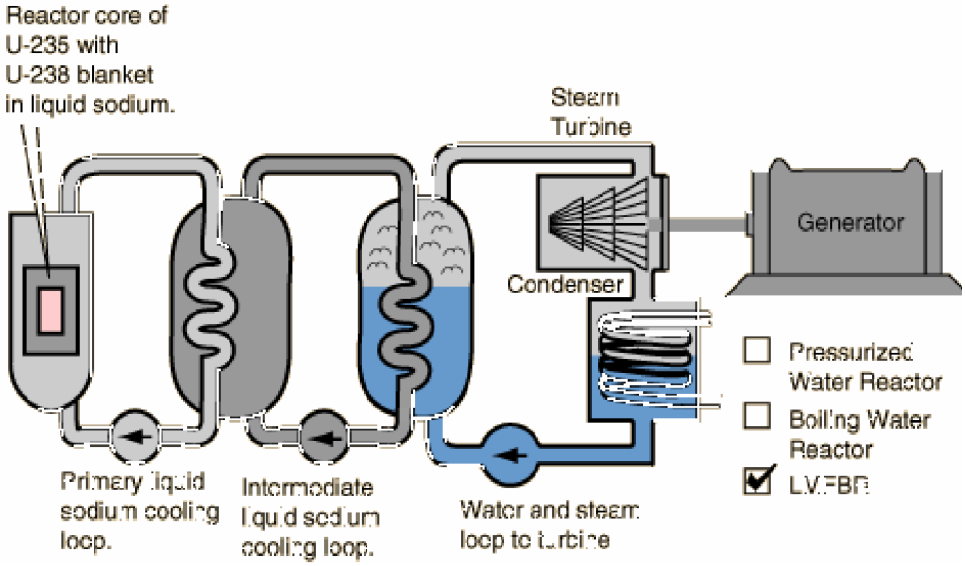
مشکلات عمده ای که در بکارگیری این نوع راکتورها وجود دارد سبب شده تا استفاده از این راکتورها هنوز از حد آزمایشگاهی خود خارج نشود. در صورت تحقق این هدف ، از اورانیوم طبیعی که ۹۹/۳ درصد آن اورانیوم ۲۳۸ است ، می توان حدود ۶۰ بار بهتر بهره برداری کرد . در این راکتورها از نوترونهای پر شتاب استفاده می شود. البته اگر میزان پلوتونیوم در سوخت کم باشد ، انرژی تولیدی کم خواهد شد که به همین دلیل عناصر سوختی مذکور دارای ۲۰ تا ۳۰ درصد پولوتونیوم و ۷۰ یا ۸۰ درصد اورانیوم ۲۳۸ هستند. به عبارت دیگر در این نوع راکتورها حدود ۳۰ برابر مواد قابل شکافت وجود دارد که خود می تواند خطرات زیادی را در بر داشته باشد لذا سیستم کنترل آن بسیار پیچیده ترخواهد شد. گرما زایی عناصر سوختی به خاطر درصد بالای مواد قابل شکافت بسیار بالاست از این رو از سدیم مایع که از ظرفیت گرمایی بالایی برخوردار است و برخلاف آب از سرعت نوترونها نمی کاهد در راکتور استفاده می گردد. مدار سدیم اولیه ، مدار سدیم ثانویه را داغ می کند و سدیم مدار ثانویه به دیگ بخار هدایت شده و در آنجا ، آب را به بخار تبدیل می کند. بقیه مراحل مانند نیروگاههای آب سبک است. در این نیروگاهها ۴ سیکل وجود دارد.

الف : سیکل سدیم اولیه

ب : سیکل سدیم ثانویه

ج : سیکل آب کندانسیت

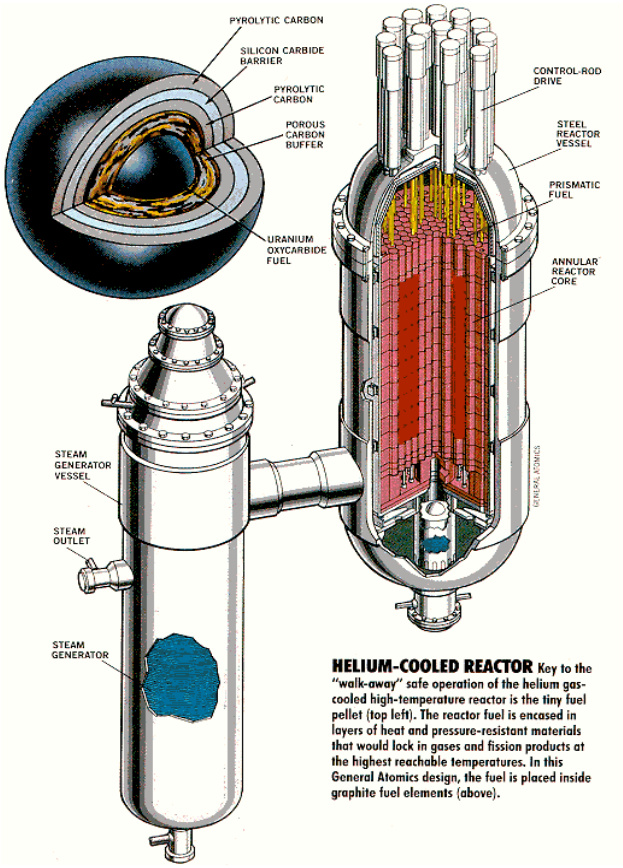
د : سیکل آب خنک کننده



شکل ۱۸۰- سیکل نیروگاه اتمی با راکتور زاینده

۴ . نیروگاه با راکتورهای حرارت زیاد

نوع دیگر راکتورها که آزمایشهای ارزیابی آن طی شده است. راکتورهای حرارت زیاد یا راکتور با سوخت گلوله ای است. در این نوع راکتورها علاوه براورانیوم، توریوم ۲۳۲ نیز به عنوان ماده خام انرژی زا بکار می رود. این ماده از طریق جذب نوترون به اورانیوم ۲۳۳ که قابل شکافت است، تبدیل می شود. در اینجا گرافیت نقش مدولاتور را ایفاد می کند. انرژی حاصل از شکافت به گازی مانند هلیم منتقل می شود و آن را تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد گرم می کند و قابلیت تبدیل آب را به بخار داراست. این راکتورها دارای بازده بالایی می باشند .



شکل ۱۸۱- نیروگاههای انمی با سوخت گلوله ای

سیال خنک کننده در راکتور برای انتقال حرارت از قلب راکتوربه بویلر نیروگاه برای ایجاد بخار جهت استفاده درتوربین ویا به طور مستقیم جهت استفاده در توربین به کار می رود پس از پس دادن حرارت مجددا به راکتور باز می گردد. سیال نقش بسیار تعیین کننده ای در انتخاب نوع راآکتور داشته و از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. سیال مورد استفاده در راکتور باید دارای ویژگیهای زیر باشد:

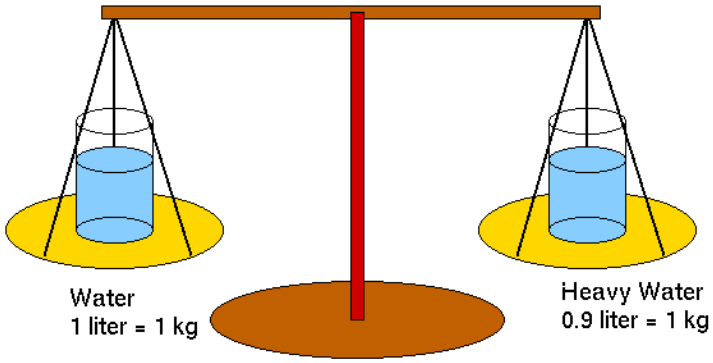
- نقطه ذوب پایین
- نقطه جوش بالا
- بدون خواص خورندگی
- جذب نوترون کم هنگام عبور از مقطع
- سرعت خنک کنندگی بالا
- مقاومت تششعشعی
- مقاومت حرارتی .
- نداشتن خاصیت اکتیویته
- بی تفاوت بودن به سیال عامل در توربین
- ضریب انتقال حرارت بالا
- انرژی کم برای پمپ کردن آن به راکتور

هیچ سیال عاملی دارای همه خصوصیات فوق نبوده و هر سیال در راکتوری خاص پیشنهاد می شود. تعدادی ازاین خنک کننده ها درزیر فهرست شده اند که خواص بعضی از انها در ادامه گفته خواهد شد. بعضی از مایعات و گازهای مورد استفاده در راکتور عبارتند از:

- آب سنگین، آب سبک، سدیم مایع، مخلوط سدیم و پتاسیم مایع، نمک مذاب و دیفنیل.
- هوا، دی اکسید کربن، هلیوم، نیتروژن، هیدروژن و بخار اب.

آب سنگین

آب معمولی شامل دو اتم هیدروژن ویک اتم اکسیژن است. آب سنگین در واقع ساختمانی شبیه آب معمولی دارد با این تفاوت که اتمهای هیدروژن با دتریم جایگزین شده است. دتریم ایزوتوپ هیدروژن بوده و دارای یک نوترون اضافی در هسته خود است. به این دلیل از هیدروژن سنگین تر است و به همین ترتیب ملکول اب سنگین به اندازه جرم دو نوترون از ملکول اب معمولی سنگین تر است. جرم ملکولی اب معمولی برابر ۱۸ وجرم ملکولی اب سنگین برابر۲۰ می باشد. اب سنگین توانایی بیشتری در کند کردن نوترون های حاصل از شکافت دارد.



شکل ۱۸۲- مقایسه آب سنگین و سبک از لحاظ وزن

مزایا و معایب آب سنگین

مزایا:

- توانایی کار با هر سوختی شامل اورانیوم را دارد
- کند کننده خوبی برای نوترون می باشد
- ظرفیت گرمائی بالائی دارد

- محصولات حاصل از شکافت را سیرکوله نمی کند.
- اگر خالص باشد عمر راکتیویته کوتاهی دارد.

معایب:

- گران بودن آب سنگین
- پیش بینی های لازم باید برای جلوگیری از خروج آب سنگین از چرخه در نظر گرفته شود.
- بالا بودن فشار برای جلوگیری از جوشیدن سیال.
- آب سنگین گرم به شدت خورنده است.
- نیاز به Heat exchanger و Control rod دارد.
- تعویض سوخت مشکل است.
- درصورت تماس با بعضی از سوختها واکنش می دهد.

اب سبک(معمولی)

مزایا:

- آب ماده ای کاملا شناخته شده است.
- ارزان بودن آب
- آب جذب کننده خوب نوترون است.
- ظرفیت حرارتی بالایی دارد.
- ضریب انتقال حرارت بالا
- محصولات حاصل از شکافت را سیرکوله نمی کند.
- اگر خالص باشد عمر رادیو اکتیویته کوتاهی دارد.
- به راحتی به حالت سوپرهیت می رسد

معایب:

- بالا بودن فشار برای جلوگیری از جوشیدن سیال
- دمای ذوب دیگر فلزات محدودیت ایجاد می کند.
- آب سبک گرم به شدت خورنده است.
- نیاز به Heat exchanger و Control rod دارد.

مخلوط دیفنیل واکسید دیفنیل

از این خنک کننده به طور عمده استفاده نمی شود وسه دلیل عمده این امر عباتند از:

- عدم شناخت عمومی
- انتقال حرارت کمتر نسبت به آب
- حساس بودن نسبت به تشعشع

مزایا:

- دمای جوش بسیار بالا
- کند کننده بسیار خوب
- محصولات شکافت ایجاد شده را منتقل نمی کند.
- در صورت خروج از چرخه بخار نمی شود.
- رادیو اکتیو نمی شود.
- خوردگی ان روی سطح فلزات قابل چشم پوشی است.

معایب :

- دمای بالا باعث شکستن پیوندهای آن می شود.
- ترکیب دیفنیل با مواد دیگر ممکن است باعث ته نشین شدن واکنش روی سطوح حرارتی شود.
- تعویض سوخت مشکل است.
- انتقال حرارت کمتر نسبت به آب
- تولید گاز هیدروژن

فلزات مایع

خصوصیات فوق العاده انتقال حرارت در فلزات مایع آنها را برای استفاده در راکتورهای هسته ای به عنوان خنک کننده مناسب ساخته است. علاوه بر این در این نوع راکتورها از فشار پایین به همراه دمای بالااستفاده می شود که توانایی ایجاد بخار مورد نیاز در راکتور را دارد. دو نوع فلز سدیم وسدیم ـ پتاسیم به طور گسترده در راکتورهای هسته ای به کار می روند. به دلیل کاربرد بیشتر سدیم در راکتورها به شرح معایب ومزایای آن می پردازیم.

مزایا:

- ضریب انتقال حرارت بالا
- کند کننده خوب برای نوترونها
- با اورانیوم وتوریم واکنش نمی دهد.
- از پمپهای الکترومغناطیس برای انتقال آن می توان استفاده کرد.

معایب:

- سدیم با آب به شدت واکنش می دهد.
- خطرتشعشع در فلزات مایع وجود دارد.
- با اکسیژن واکنش می دهد.
- کنترل فرایند مشکل است.
- به کارگیری سیستم کنترل قوی برای جلوگیری از خروج سیال عامل به خارج سیکل اول.
- درصورت جامد شدن سدیم درلوله ها مشکلات فراوانی پیش می آید.

گاز های خنک کننده

این گازها ابتدا برای اولین بار به منظور خنک کننده وارد نیروگاهها نشدند بلکه ابتدا به منظور تولید پلوتونیم وارد مسائل هسته ای شدند. ولی اکنون جای شکی باقی نمانده که استفاده از این گازها کاملا اقتصادی ومقرون به صرفه می باشد. دو گروه عمده این گازها عبارتند از :

- دی اکسید کربن
- هلیوم

مزایا و معایب دی اکسید کربن عبارتند از:

مزایا:

- خوردگی توسط این گاز قابل صرف نظر است.
- این گاز با هیچ سوختی واکنش نمی دهد.
- دی اکسید کربن درصورت خروج ازچرخه اول منفجرنمی شود.
- با هر سوختی به راحتی کار می کند.
- این گاز ارزان قیمت است.
- نشت مقداری دی اکسید کربن قابل صرف نظر است.
- این گاز می تواند مستقیما وارد توربین گازی شود.

معایب:

- حجم راکتور و Heat Exchanger زیاد می شود.

- راندمان انتقال حرارت پایین است .
- فشار دی اکسید کربن باید بالا باشد.
- چگالی کم این گاز از معایب است.
- این گاز در دمای 300 درجه سانتیگراد به عناصر سازنده تفکیک می شود.

سوختگی درراکتورهای هسته ای

در راکتورهای هسته ای قابلیت تولید انرژی محدود است .این محدودیت مربوط به توانایی راکتور در انتقال انرژی از مواد سوخت به خنک کننده به منظور بیرون بردن از قلب راکتوراست. میزان جریان کننده ها در امتداد میله ها به علت اختلاف ابعاد در گذرگاههای جریان، تغییر می کند. این اختلاف ابعادی ممکن است مربوط به روند تولید ویا دهانه هایی که در کانالها قرار می دهند باشند. در راکتورهای هسته ای بایداز ایجاد جوشش لایه ای که سطح انتقال حرارت را با لایه ای از بخارمی پوشاند جلوگیری کرد.یک چنین پوششی روی سطح در اثر بخار ممکن است منجر به سوختگی شود. دماهای خیلی زیاد تولید شده در غلاف ممکن است باعث شکاف در غلاف و آزاد شدن محصولات شکافت شود.

انواع راکتورهای هسته ای :

با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمتهای انواع راکتورهای مورد استفاده در نیروگاههای اتمی بصورت زیر می باشند.

۱ . راکتور آب جوشان (Boiling Water Reactor)

۲ . راکتور با آب سنگین (Heavy Water Reactor)

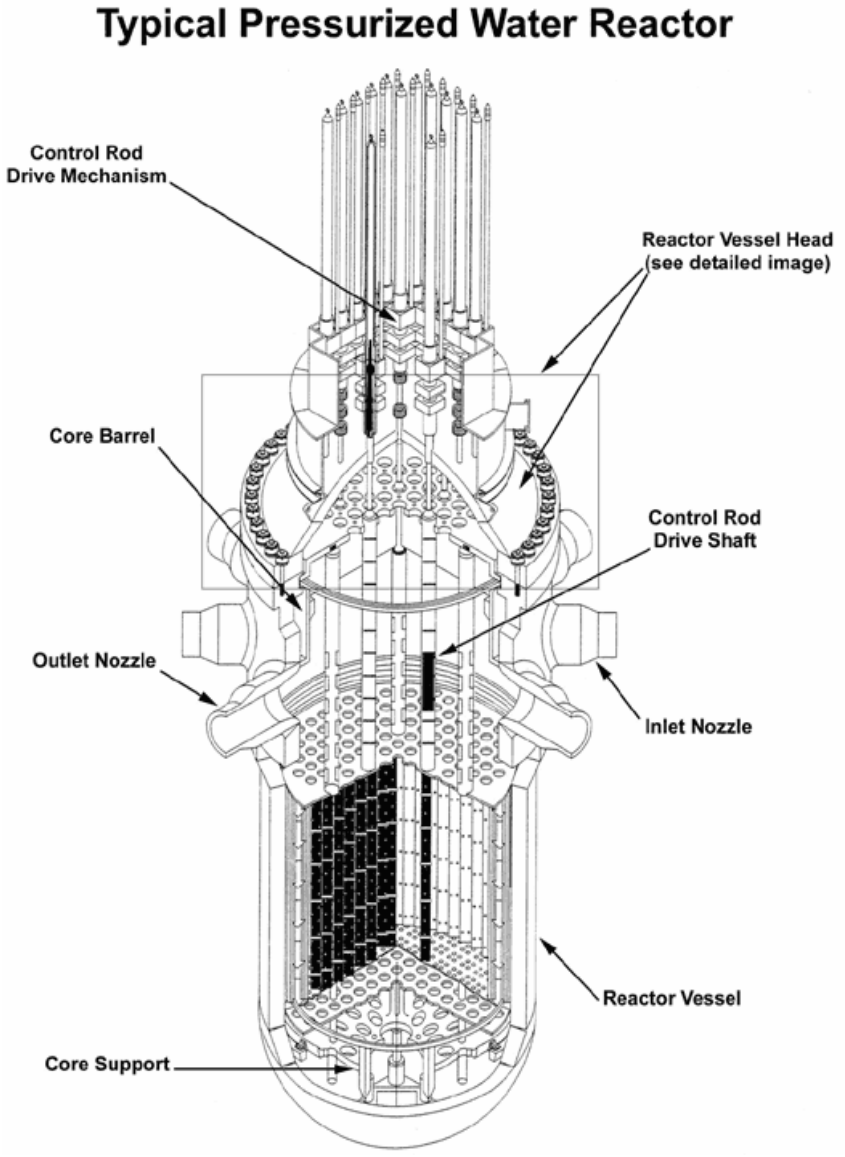
۳ . راکتور با خنک کنندگی گازی (Gas Cooled Reactors)

۴ . راکتورهای زاینده (خود سوخت زای سریع) (LWGR)

۵ . راکتورهای آب تحت فشار (Pressurized Water Reactor)

راکتورهای اتمی را معمولا برحسب نوع خنک کننده، کند کننده، نوع و درجه غنای سوخت در آن طبقه بندی می کنند. معروفترین راکتورهای اتمی، راکتورهایی هستند که از آب سبک به عنوان خنک کننده و کند کننده و اورانیوم غنی شده ۲ تا ۴ درصد (اورانیوم ۲۳۵) به عنوان سوخت استفاده می کنند. این راکتورها عموما تحت عنوان راکتورهای آب سبک (LWR) شناخته می شوند. راکتورهای WWER, BWR, PWR از این دسته اند. نوع دیگر، راکتورهایی هستند که از گاز به عنوان خنک کننده، گرافیت به عنوان کند کننده و اورانیوم طبیعی یا کم غنی شده به عنوان سوخت استفاده می کنند. این راکتورها به گاز _گرافیت معروفند . راکتورهایHTGR, AGR, GCR از این نوع می باشند.

راکتور PHWR راکتوری است که از آب سنگین به عنوان کندکننده و خنک کننده و از اورانیوم طبیعی به عنوان سوخت استفاده می کند. نوع کانادایی این راکتور به CANDU موسوم بوده و از کارایی خوبی برخوردار می باشد. مابقی راکتورها مثل FBR راکتوری که از مخلوط اورانیوم و پلوتونیوم به عنوان سوخت و سدیم مایع به عنوان خنک کننده استفاده کرده و فاقد کند کننده می باشد (LWGR) راکتوری که از آب سبک به عنوان خنک کننده و از گرافیت به عنوان کند کننده استفاده می کند ، از فراوانی کمتری برخوردار می باشند. در حال حاضر، راکتورهای PWR و پس از آن به ترتیب PHWR,WWER,BWR فراوانترین راکتورهای قدرت در حال کار جهان می باشند.



شکل ۱۸۳- راکتور آب تحت فشار

ساختمان راکتور :

راکتورهای هسته ای از قسمتهای زیر تشکیل شده اند :

۱. تعدیل کننده یا مدولاتور

از آنجایی که باید به نحوی از سرعت زیاد نوترونهای پر قدرت که در ضمن شکافت هسته های اورانیوم ۲۳۵ پرتاب مـی شـوند ، جلـوگیری کرد ، تا همانطور که قبلا گفته شد شکافت به صورت زنجیره ای ادامه یابد از وسیله سرعت گیری به نام تعدیل کننده یا مـدولاتور اسـتفاده می کنند . مدولاتور باید در ضمن اینکه انرژی سنتیک نوترون را می گیرد ، آنرا جذب نکند و باعث اتلاف آن نشود . در حال حاضر بهترین مدولاتورها آب معمولی (H2O) ، آب سنگین (D2O) و در درجه سوم گرافیت هستند .

۲. خنک کننده

در راکتورهای با مدولاتور مایع از همان مدولاتور برای خنک کردن راکتور استفاده می شود . ولی برای خنک کـردن راکتورهـا بـا مـدولاتور جامد اغلب از گاز CO2 یا هلیوم و یا از مایع ناتریم استفاده می شود.

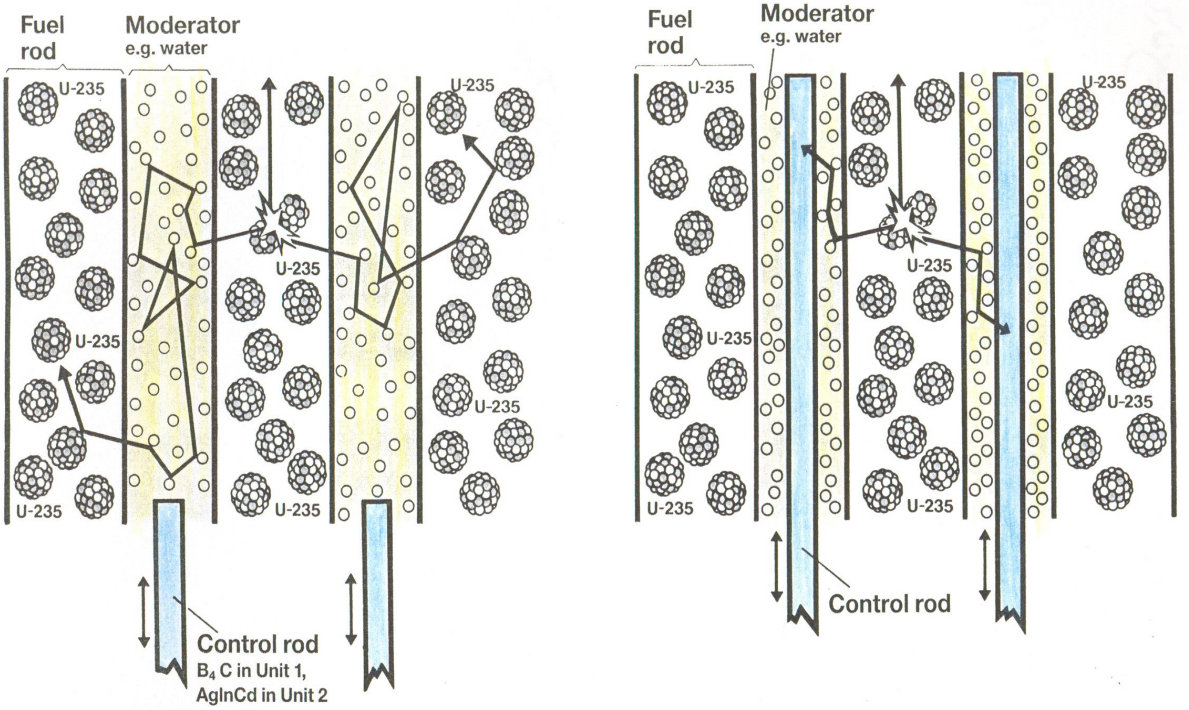
۳ .لوله های سوخت

عنصر سوخت را بعد از آماده سازیهای اولیه به صورت قرصهایی با قطر حدود ۱ سانتی متر و ارتفاعی حدود ۱/۵ سانتی متر در مـی آورنـد . این قرصها در داخل لوله هایی تو خالی قرار می گیرند و بدین ترتیب لوله های سوخت را به وجود می آورند . وظیفه این لوله ها جلو گیری از فرسایش قرصها و نیز نگه داشتن محصولات شکافت در داخل خود می باشد .

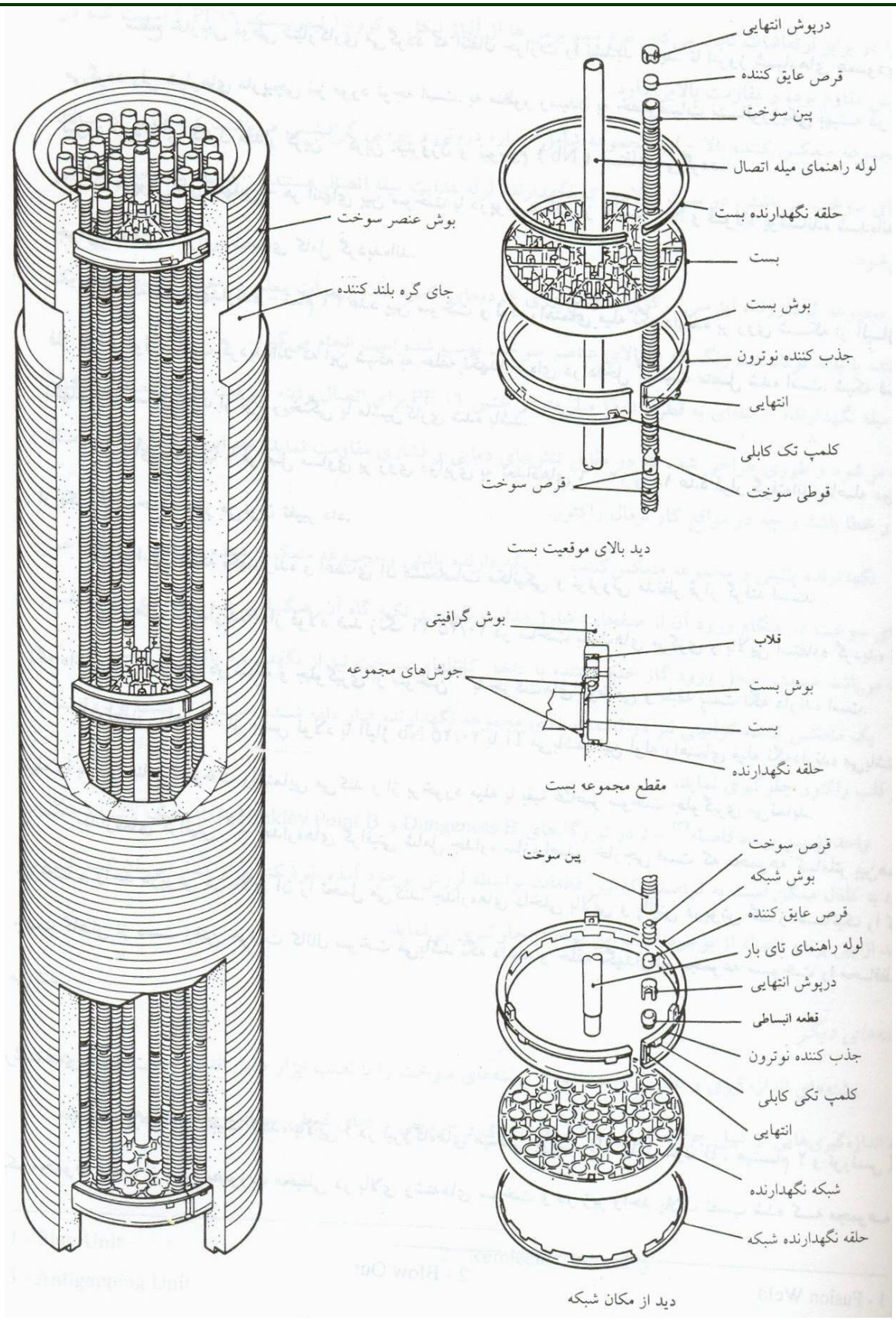
شکل ۱۸۴- لوله سوخت به همراه سوخت

۴ . میله های فرمان

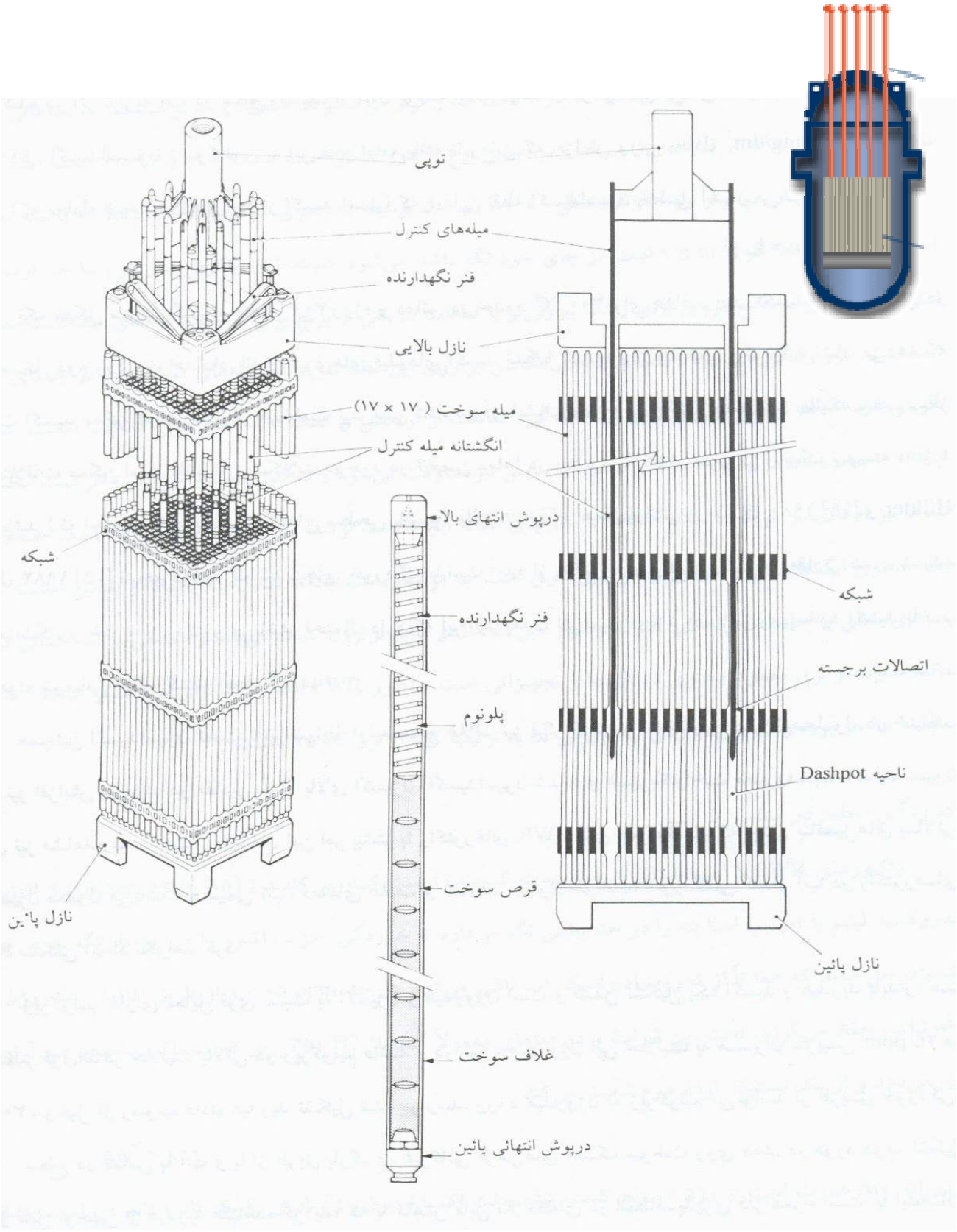
در اثر شکافت یک هسته اورانیوم ۲۳۵ بطور متوسط ۲ نوترون جدید به وجود می آید، اگر هر کدام از این نوترونها شکافت دیگری را شامل شود و دنبال کند، پس از مدت کوتاهی یک انفجار در راکتور پیش می آید.(انفجاراتمی) برای جلوگیری از این فرایند باید نوترونهای اضافی را جذب کرد. این کار توسط میله های تنظیم که از ماده نوترون (کادیم و بور) تشکیل شده اند، صورت مـی گیـرد. در کـل بـرای تنظـیم شدت جریان نوترونها از میله های فرمان استفاده می شود به طوری که با تغییر موقعیت این میلـه هـا در هسـته راکتـور، جریـان نوترونهـا شدیدتر یا ضعیفتر می گردد.



شکل ۱۸۵- چگونگی کنترل جریان نوترونها با استفاده از میله های فرمان



شکل ۱۸۶- جزئیات کامل لوله های سوخت



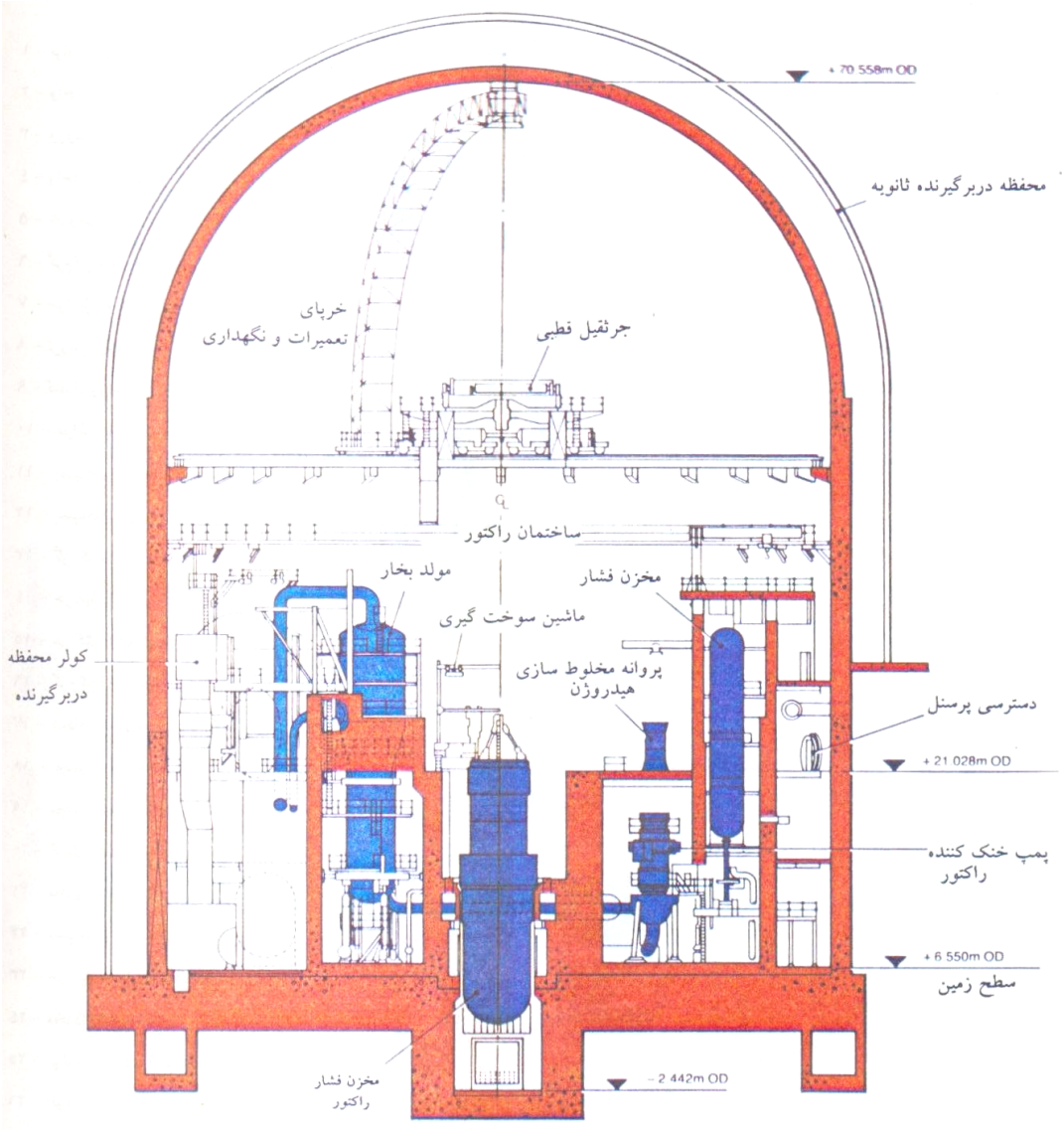
شکل ۱۸۷- نگهدارنده میله های سوخت و چگونگی اتصالات در یک راکتور

۵ . رفلکتور یا منعکس کننده

در راکتور تعدادی از نوترونها به دلایل خاصی از محل عمل اصلی که هسته مرکزی راکتور می باشد، خارج شده و بـه اطـراف پراکنـده مـی شوند. این پراکندگی به عنوان تلفات در راکتور محسوب می شود لذا سعی می شود به کمک وسیله ای شبیه به آیینه (گرافیت یا برلیـوم) که دور تا دور هسته را پوشانیده است نوترونهای منحرف شده مجدداً به داخل هسته راکتور منعکس شود. این عمل باید طوری انجام شـود که هیچ مقداری از آن جذب نشود. این وسیله را رفلکتور یا منعکس کننده می نامند. در راکتورهایی که با مدولاتور مـایع کـار مـی کننـد، مدولاتور عمل رفلکتور رفلکسیون را انجام می دهد .

۶ .جدار حفاظ

برای جلوگیری از نفوذ هرگونه تشعشعی به خارج از راکتور از یک زره حفاظتی برای راکتور استفاده می کنند کـه از دو قسـمت حرارتـی و بیولوژیکی ساخته شده است. پوسته داخلی که از چند لایه آب و فولاد تشکیل شده است، حفاظ حرارتی مـی باشـد. ایـن حفـاظ حرارتـی قسمت زیادی از نوترونها و تشعشعات را جذب می کند و باعث بالا رفتن درجه حرارت آب می شود. بقیه تشعشعات و نوترونها کـه از مـانع حرارتی عبور کرده اند، به مانع بیولوژیکی که از جنس بتون می باشد، برخورد و در همانجا پراکنده می شـوند و نمـی تواننـد بـه خـارج راه یابند.



شکل ۱۸۸- ساختمان کامل یک راکتور

سوخت راکتور

درراکتورهای امروزی عمدتا از اورانیوم با ترکیبات متفاوت به عنوان عنصر سوخت استفاده می شود. سوختهای متداول در ذیل آورده شده اند :

۱ . اورانیوم طبیعی (که ۹۹/۳ درصد آن اورانیوم ۲۳۸ و ۰/۷ درصد آن اورانیوم ۲۳۵ می باشد.)

۲ . اورانیوم غنی شده (که ۹۷ درصد آن اورانیوم ۲۳۸ و ۳ درصد آن اورانیوم ۲۳۵ می باشد.)

۳ . اورانیوم ۲۳۳ (این عنصر بطور طبیعی در طبیعت موجود نمی باشد.)

۴ . پلوتونیوم ۲۳۹ (این عنصر بطور طبیعی در طبیعت موجود نمی باشد و براثر برخورد نوترون تحت یک سرعت معین با اورانیوم ۲۳۸ بدست می آید .)

۵ . اورانیم غنی شده (که۹۰ درصد آن اورانیوم ۲۳۸ و ۱۰ درصد آن اورانیوم ۲۳۵ می باشد.)

۶ . ترکیبی ازاورانیوم غنی شده (۹۳درصد اورانیوم ۲۳۵ باتوریوم به نسبت ۱۰:۱)

سرنوشت عناصر سوختی مصرفی

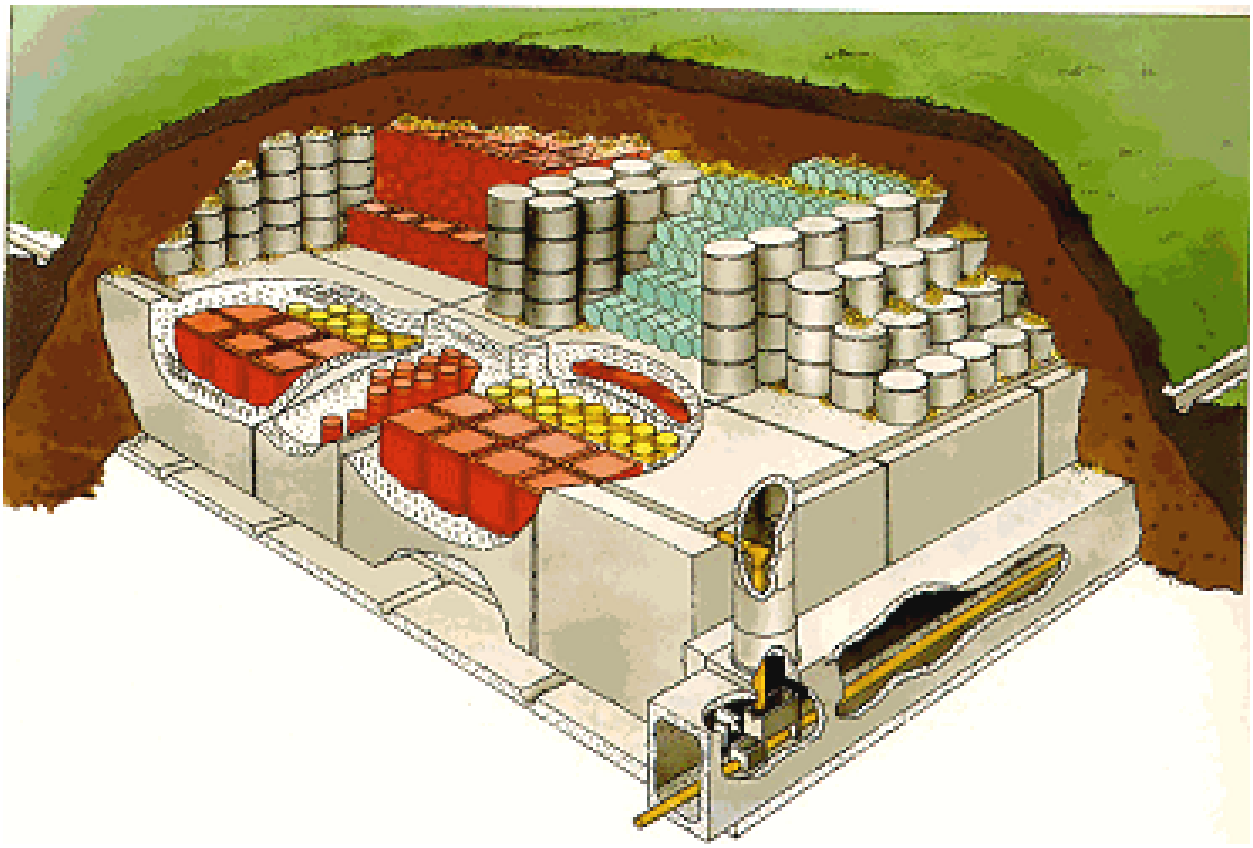
در راکتور نیرو گاههای اتمی ، در شکافت هسته ، اتمهای نیمه سنگین تولید می شود که به شدت رادیو اکتیو هستند و پرتو های خطرناکی منتشر می کنند. عنصر سوختی مصرف شده دارای مقدار زیادی از این مواد خطرناک است. از سوی دیگر باقیمانده های اورانیوم ۲۳۵ و پلوتونیم نیز در آن یافت می شود. عناصر سوختی مصرف شده پس از تخلیه از راکتور، نخست برای مدتی در یک استخر کاهش پرتو زایی که پر از آب است و در داخل ساختمان راکتور قرار دارد انبار می شود. در اینجا میزان رادیو اکتیویته یا پرتوزایی آنها به تدریج کاهش یافته و خاصیت گرما زایی آن کم شده، آنگاه عناصر سوختی به جای دیگری حمل می شوند. این کار با تانکرهای مخصوصی که دیواره های خارجی آنها تقریبا ۵۰ سانتیمتر ضخامت دارد انجام می شود.

مقاومت تانکرها در حدی است که حتی در مقابل بمباران هوایی شدید هم مقاوم هستند. در این مرحله سوخت مصرف شده در تانکرهای حمل و نقل باقی می مانند و سپس میله های سوختی دوباره باز یافت می شوند. زباله های اتمی جدا شده و مواد سوختی اورانیوم و پلوتونیم دوباره به دست می آیند. اورانیوم و پلوتونیم پس از تکمیل روند جدا سازی و خالص سازی برای استفاده در عناصر سوختی جدید به کارگاه مربوطه انتقال داده شده و زباله های اتمی برای انبار نهایی آماده و بسته بندی می شوند.

شکل ۱۸۹- کامیونهای مخصوص حمل سوخت مصرف شده

این مواد بایستی برای همیشه بسته بندی شده بمانند و در مکان مناسب با ایمنی کامل انبار شوند. دفن زباله ها با بسته بندی مخصوص در اعماق دریاها و اعماق زمین از جمله این روشهاست. اما بهترین و مطمئن ترین آن، دفن این مواد با بسته بندی مخصوص آنها در عمق هزار متری گنبدهای نمکی است. امروزه ثابت شده است که نمک کاملا نفوذ ناپذیر بوده بنحوی که هیچ اثر رادیو اکتیویته ای نمی تواند از آن به

محیط زیست راه یابد. نمونه این گنبد نمکی درنزدیکی شهر گورلبن وجود دارد که دارای ۱۵ کیلومتر طول و ۴ کیلومتر عرض و بـین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متری زمین قرار گرفته است .



شکل ۱۹۰- نمونه ای از چگونگی دفن زباله های اتمی