نیروگاه های هسته ای

تولید انرژی الکتریکی

فصل ۵:

نیروگاه های هسته ای

محدودیت های سوخت های فسیلی

توجه به منابع انرژی نو (باد,جذر ومد,زمین گرمایی,خورشید)

از نظر تکنولوژی پر هزینه,محدود

نیروگاه های هسته ای بر اساس شکافت

(تامین ۱۷٪ کل انرژی جهان)

توجه به انرژی ناشی از شکافت وهمجوشی هسته ای

واکنش شکافت هسته ای

بمباران نوترونی هسته اورانیوم ۲۳۵ و جذب نوترون توسط آن، که تعادل نوترون و پروتون را در هسته به هم میزند.درنتیجه هسته به دو هسته سبکتر شکافته می شود.

تقسیم هسته با آزاد سازی انرژی زیادی همراه است که درصد زیادی از ان توسط انرژی جنبشی از نوترون ساطع و درصد کمی از آن به صورت تشعشعی انتقال می یابد.

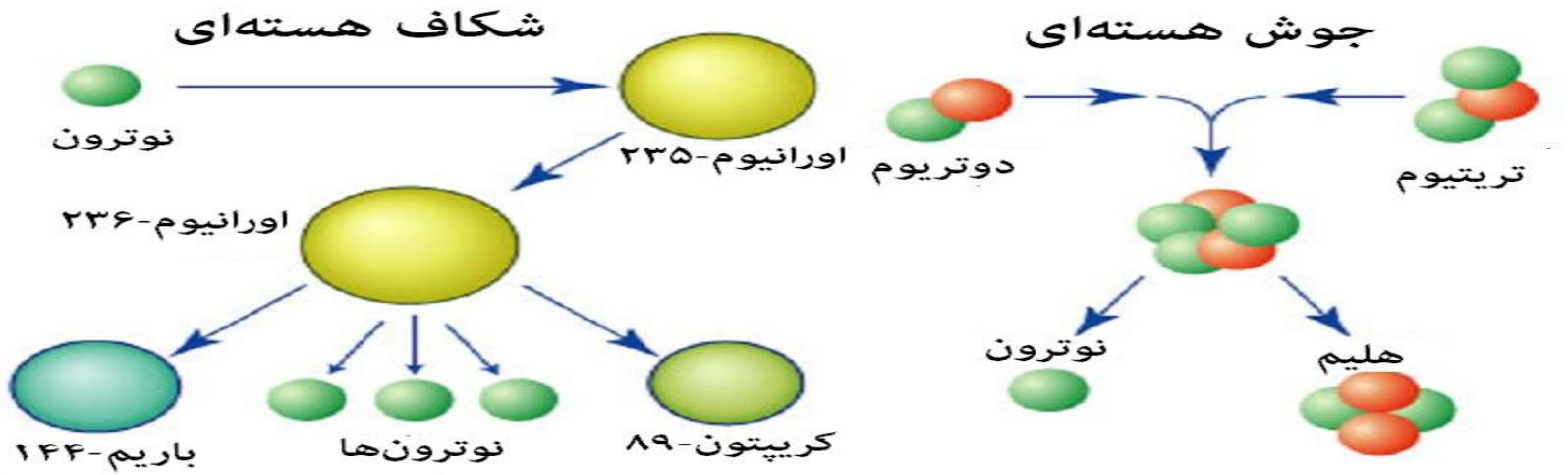
با عبور سیالی مانند آب از درون محفظه ای که شکافت در آن صورت میگیرد انرژی جنبشی مذکور را میتوان جذب نمود.

مشکلات

1. اگرچه جرم کمی از این سوخت انرژی زیادی تامین میکند وانتقال آن ارزان است ولی محدود است.
2. تولید انرژی در نیروگاه های هسته ای آلودگی رادیواکتیو وحرارتی ایجاد میکند.
3. زباله های اتمی مشکل ساز هستند.

نوع دیگر واکنش هسته ای, واکنش همجوشی هسته ای است که از همجوشی اتم های سبک بدست می آید.

تبدیل اتم های هیدروژن به هلیم که همراه با آزاد سازی انرژی زیادی است.در این روش در اطراف مخزنی از اتم دوتریم یک بمب منفجر میشود و در نتیجه هسته اتم های دوتریم با هم ترکیب و انرژی فوق العاده زیادی تولید می شود.



مزایای انرژی هسته ای

دیدگاه اقتصادی: با توجه به شرایط موجود ازلحاظ اقتصادی اگر هزینه های فروش نفت وگاز را با قیمت های متعارف بین المللی در محاسبات هزینه تولید هر کیلو وات ساعت برق منظور نماییم و با در نظر گرفتن تورم و افزایش احتمالی قیمت این حامل ها و با توجه به روند تدریجی به اتمام رسیدن ذخایر جهانی نفت و گاز، یقیناً در بین گزینه های انرژی موجود استفاده از حامل انرژی هسته ای نزدیک ترین فاصله ممکن را با قیمت تمام شده برق در نیروگاه های هسته ای خواهد داشت.

دیدگاه زیست محیطی: به جهت افزایش خطرات و نگرانی های ناشی از اثرات مخرب انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از سوخت های فسیلی از انرژی هسته ای به عنوان یکی از رهیافت های زیست محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین وکاهش آلودگی محیط زیست یاد میشود.

سوخت های هسته ای گاز های سمی و مضر تولید نمیکنند و مشکل زباله های اتمی نیز تا حد قابل قبولی رفع شده است.(دفع در صخره های زیرزمینی و حفاظت و ایمنی بالا)

مقایسه با نیروگاه های فسیلی

1. تمیز بودن نیروگاه های هسته ای و عدم آلایندگی محیط زیست به آلاینده هایی نظیر: Co,Co2,No2,So2
2. پیشرفت تکنولوژی و استفاده هرچه بیشتر از این علم جدید
3. افزایش کارایی وکاربرد تکنولوژی هسته ای در سایر زمینه های صلح آمیز در کنار نیروگاه های هسته ای از قبیل:
   - پزشکی وبهداشت
   - دام پزشکی
   - کشاورزی
   - اکتشاف و شیرین سازی آب
   - خنثی سازی مین های ضد نفر

در هر اتم معمولا عدد اتمی را با Ze جرم تمی را با Am نشان میدهند. عدد اتمی بیانگر تعداد پروتون های هسته میباشد وجرم اتمی بیانگر تعداد کل پروتون ها و نوترون های موجود در هسته می باشد.
جرم هسته مرکزی تقریبا برابر جرم اتمی است. تعداد نوترون های هر هسته را میتوان از طریق جرم اتمی و عدد اتمی آن بدست آورد:

$$n = Am - z_e$$

اتم های با تعداد پروتون های مساوی ولی نوترون های متفاوت دارای خواص شیمیایی مشترکی هستند .همچین عناصری را ایزوتوپ(Isotope) می نامند. یعنی ایزوتوپ ها دارای عدد اتمی یکسان ولی جرم اتمی متفاوت هستند.

مثلا برای اتم هیدروژن:

هیدروژن	فاقد نوترون	آب سبک(معمولی)	H2O
دوتریم	1 نوترون	آب سنگین	D2O
تریتیوم	2 نوترون	آب خیلی سنگین	T2O

عنصر اورانیوم دارای چهار ایزوتوپ است که فقط دو ایزوتوپ آن به دلیل داشتن نیمه عمر بالا در طبیعت یافت می شوند. اورانیوم ۲۳۵(U235) واورانیوم ۲۳۸(U238) که هر دو ۹۲ پروتون ولی اولی ۱۴۳ نوترون و دومی ۱۴۶ نوترون دارد.

اختلاف این دو ایزوتوپ وجود فقط ۳ نوترون اضافی در ایزوتوپ سنگین است.از نظر خواص شیمیایی یکسان هستند و برای جداسازی آنها از یکدیگر حتما باید از خواص فیزیکی آنها (یعنی اختلاف جرم ایزوتوپ ها) استفاده کرد. ایزوتوپ ۲۳۵ شکست پذیر است که از این خاصیت در نیروگاه های اتمی استفاده میشود و حرارت ایجاد شده در اثر شکست را تبدیل به انرژی الکتریکی می کنند.

کاهش جرم و انرژی اجباری

جرم هسته مرکزی هر اتمی کمتر ازحاصل جمع پروتون ها و نوترون هایی است که هسته مرکزی را تشکیل می دهند.به این اختلاف در جرم کاهش جرم (Mass Defect) میگویند. ظاهرا انرژی معادل این کاهش جرم هسته مرکزی را به هم می چسپاند این کاهش جرم را می توان با جمع کردن وزن تک تک ذرات اتم وتفاوت آن با جرم کل یک اتم به دست آورد :

$\Delta m = n_n m_{n+z_c(m_P+m_e)}$ + Ze جرم اتم باعدد جرمی Amو عدد اتمی

انرژی در ارتباط با کاهش جرم معادل با مقدار انرژی ای است که هسته را بهم می چسپاندکه به آن انرژی ساختاری می گویند.

$$E = 1 * 10^{-3}(3 * 10^{8})^{2} = 9 * 10^{13}$$

انرژی آزاد شده در یک واکنش هسته ای بر حسب الکترون ولت (ev) یا مگا الکترون ولت (M ev) بیان میشود.یک الکترون ولت مقدار انرژی ای است که یک الکترون نیاز دارد تا در یک میدان الکتریکی با اختلاف پتانسیل یک ولت به حرکت درآید.

$$1\ ev = 1*10^{-19}\ J$$

انرژی آزاد شده در واکنش های هسته ای

در بیشتر واکنش های هسته ای دو ذره (یا دو هسته) با برخورد به هم به دو ذره متفاوت تبدیل می شوند.

a+b => x+y

در واکنش های هسته ای همیشه یک اختلاف در جرم ذرات سمت چپ معادله بالا با ذرات سمت راست وجود دارد. رابطه ذخیره انرژی کل و تعادل بین جرم و انرژی در واکنش های هسته ای باید برقرار باشد.

مقدار انرژی QNR که در برقراری تعادل انرژی بین سمت چپ وراست رابطه بالا دخیل است بربر است با:

$Q_{NR}=([ma+mx)]-(mb+my)].\ c^2$

شکافت هسته ای

اساسی ترین مرحله فیزیکی تولید انرژی در راکتور های هسته ای شکافت هسته ی سنگین اتم به وسیله نوترون ها می باشد.در واقع شکافت هنگامی صورت می گیرد که یک هسته سنگین نوترونی را جذب می کند وهمراه با خارج کردن چند نوترون پر انرژی(سریع) به دو قسمت شکافته می شود.

در سال۱۹۳۹ دو شیمی دان آلمانی به نام های هان و استرسمان کشف کردند:
اگر هسته اورانیوم۲۳۵ (U235) به وسیله نوترون های سبک بمباران شود به دو نیمه با وزن های متوسط تقسیم می شود.در بین ایزوتوپ های طبیعی تنها این نوع اورانیوم است که در اثر جذب نوترون های حرارتی شکافته میشود.(البته ایزوتوپ U238 برای اینکه با نوترون های سریع شکافته شود به نوترون های با انرژی جنبشی 1Mev یا بیشتر نیاز دارد.

با بمباران یک هسته اورانیوم ۲۳۵ با یک نوترون هسته آن به دو هسته نیمه سنگین مثلا باریم(Ba) وکریپتون(Kr) تقسیم میشود.

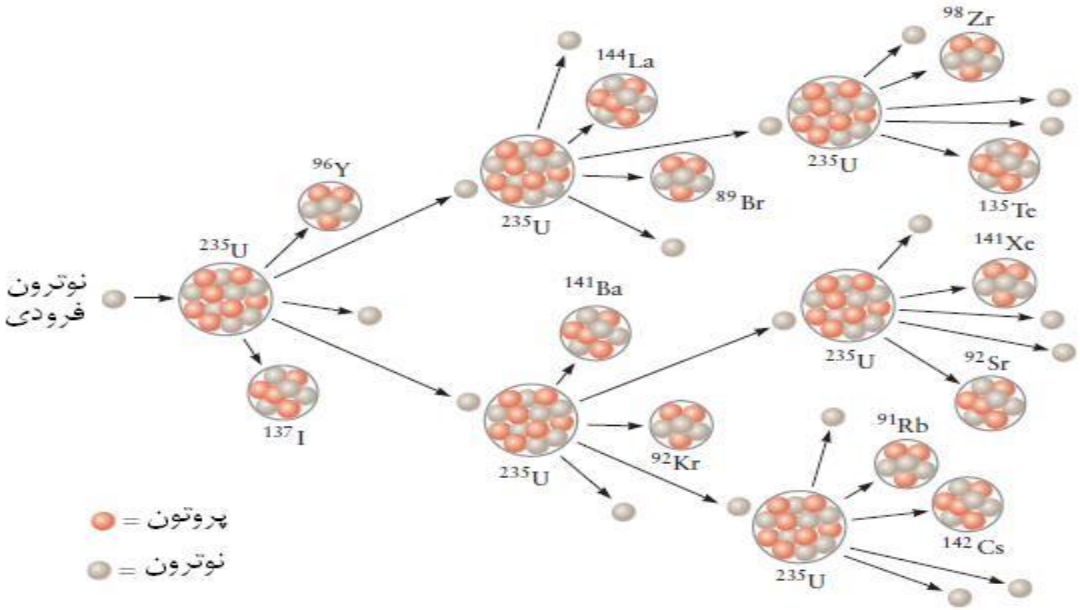
$$U_{92}^{235} + n^1 \rightarrow U_{92}^{236} \rightarrow K_{r_{36}}^{89} + B_{a\,56}^{144} + 3 * n^1 + 200Mev$$

از شکافت یک کیلوگرم اورانیوم در حدود Mwh ۲۰۰۰ انرژی به دست می آید که اگر بخواهیم همین مقدارانرژی از سوخت های فسیلی بدست آوریم تقریبا به ۱۷۰۰ تن گازوئیل ویا ۲۵۰۰ تن ذغال سنگ نیاز است.عموما این تقسیم هسته با آزاد سازی دو تا سه نوترون اضافی و مقداری از انرژی ذخیره شده در هسته همراه است.

مهمترین سوخت هسته ای که در طبیعت در دسترس است اورانیوم است که تقریبا ۹۹.۳٪ از آنرا ایزوتوپ های اورانیوم ۲۳۸ و۰.۷٪ بقیه را ایزوتوپ ها اورانیوم۲۳۵ تشکیل می دهند.

درنیروگاه های اتمی برای تولید انرژی شکافت هسته ای به صورت شکافت زنجیره ای است.در شکافت هسته اورانیوم به طور متوسط ۲ تا ۳ نوترون آزاد میشود پس این نوترون ها قادرند تا مجددا هسته اورانیوم را شکافت دهند ، به این روند شکافت زنجیره ای می گویند.

البته این روند هنگامی مهیا می شود که حداقل یکی از نوترون ها آزاد شده در اثر شکافت،باعث شکافت دیگری شود.اگر مقدار اورانیوم قابل شکاغت کم باشد،مقدار زیادی از نوترون ها قبل از عمل شکافت دیگر از بین می روند واز محیط اصلی عمل خارج می شوند .بدین منظور برای شکافت زنجیره ای و پی در پی ،به حداقل ۵۰ کیلوگرم اورانیوم ۲۳۵ نیاز است.



برخورد نوترون های آزاد با هسته اورانیوم علاوه بر اینکه امکان شکافت را به ایجاد میکند، میتواند داخل هسته شود و جذب آن گردد، در این حالت یک ایزوتوپ جدید به وجود می آید.

نوع دیگر بخورد نوترون با هسته میتواند به صورت ارتجاعی باشد ،که نوترون نه جذب هسته میشود ونه باعث شکافت آن میگردد ، در این حالت کمی از سرعت آن کاهش می یابد و یک نوترون حرارتی ایجاد میشود که می تواند در اورانیوم ۲۳۵ شکافت ایجاد کند.

هسته بعضی از عناصر از قبیل اورانیوم ۲۳۵ وپلوتونیوم ،فقط توسط نوترون های آهسته و حرارتی قابل شکافت هستند. ولی هسته برخی از عناصر مانند اورانیوم ۲۳۸ با نوترون سریع قابل شکافت می باشند. برای شکافت این نوع اورانیوم تقریبا به برخورد ۱۰ نوترون سریع نیاز می باشد.لذا این گونه برخورد ها وشکافت نمی تواند به صورت زنجیره ای ایجاد شود.

از آنجا که تقریبا ۹۹.۳٪ ازاورانیوم طبیعی را اورانیوم ۲۳۸ تشکیل میدهد وبا توجه به اینکه این ایزوتوپ با نوترون حرارتی شکافته نمی شود،لذا تبدیل این عناصر به ماده ی شکافت پذیر بسیار مطلوب است، این عمل در نتیجه جذب نوتون با سرعت متوسط صورت میگیرد. با جذب نوترون توسط اورانیوم ۲۳۸،ایزوتوپ ناپایدار اورانیوم۲۳۹ ایجاد میشود.

مفهوم غنی سازی اورانیوم

برای به دست آوردن بالاترین بازده در فرایند زنجیره ای شکافت هسته ای، باید از اورانیوم ۲۳۵ استفاده شود که هسته آن به سادگی شکافته می شود.هنگامی که این نوع اورانیوم به اتم های کوچکتر تجزیه میشود، علاوه بر آزاد شدن مقداری انرژی حرارتی، دو یا سه نوترون جدید نیز رها می شود که در صورت برخورد با اتم های جدید اورانیوم باز هم انرژی حرارتی بیشتر ونوترون های جدید آزاد میشوند.اما به دلیل نیمه عمر کوتاه اورانیوم ۲۳۵ وفروپاشی سریع آن ، این ایزوتوپ در طبیعت بسیار نادر است به طوریکه از هر ۱۰۰۰ اتم اورانیوم موجود در طبیعت ، تنها ۷ اتم آن از نوع اورانیوم ۲۳۵ ومابقی آن از نوع سنگینتر اورانیوم ۲۳۸ است.

مفهوم غنی سازی عبارتست از انجام عملی که به واسطه آن مقدار اورانیوم ۲۳۵ بیشتر شود ومقدار اورانیوم ۲۳۸ کمتر شود.

انواع روش های غنی سازی اورانیوم:

- ✓ استفاده از اصل انتشار گاز ها
- ✓ استغاده از روش فیلترینگ
- ✓ استفاده از میدان های مغناطیسی
- ✓ استفاده از دستگاه سانتریفیوژ

راکتور های هسته ای

- راکتور هسته ای مکانی می باشد که در داخل آن عمل شکافت هسته ای برای تولید انرژی گرمایی صورت می گیرد .
- راکتور ها در نیروگاه هسته ای در واقع همان نقشی را ایفا می کنند که مولد های بخار در نیروگاه های بخار با سوخت فسیلی بر عهده دارند.

انواع راکتور های هسته ای

- ✓ آب سبک جوشان
- ✓ آب سبک تحت فشار
- ✓ آب سنگین تحت فشار
- ✓ راکتور درجه حرارت بالا
- ✓ راکتور زاینده

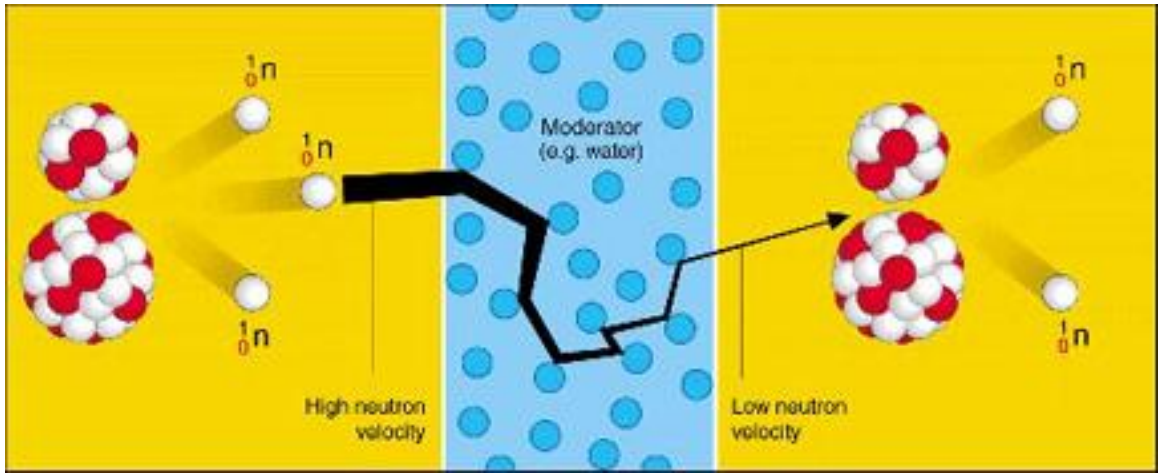
اجزای اساسی راکتور های هسته ای

- ✓ کند کننده(مدراتور)
- ✓ میله های کنترل
- ✓ خنک کننده
- ✓ منعکس کننده
- ✓ سوخت هسته ای
- ✓ حفای ایمنی راکتور

کندکننده (مدراتور)

فلسفه وجود: ۱-احتمال شکافت اورانیوم۲۳۵ در نوترون های حرارتی با سرعت کمتر خیلی زیاد تر می شود لذا برای حفظ تداوم زنجیره شکافت در راکتور های معمولی باید از مودراتور استفاده شود.
۲-سرعت زنچیره باید کنترل شود زیرا تعداد روبه افزایش نوترونها با سرعت خیلی زیاد مقدار بسیار زیاد انرژی گرمایی آزاد می کند که سبب انفجار راکتور می شود.

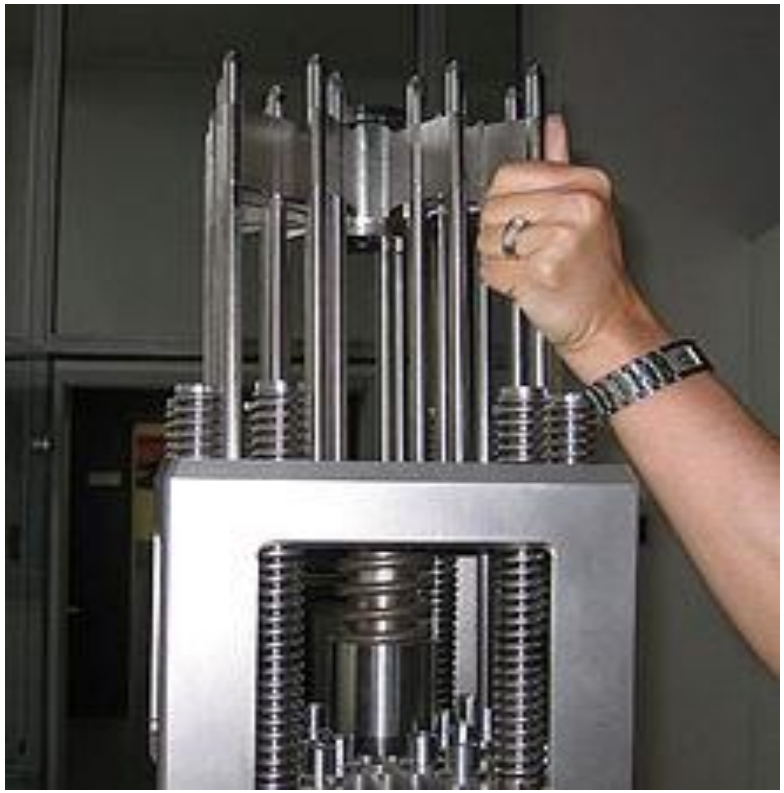
وظیفه کاستن سرعت نوترون ها در راکتور هسته ای را مدراتور بر عهده دارد .مدراتور باید از جنسی انتخاب شوند که تا حد امکان انرژی جنبشی نوترون ها را به خود جذب نمایند و خود نوترون ها را جذب نکند.
کندکننده های متداول آب سبک، آب سنگین و گرافیت هستند.

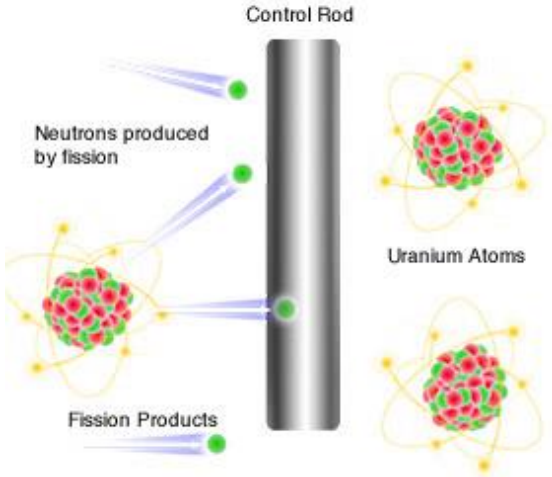


- معمولا مواد تشکیل شده از اتم های با عدد جرمی کم بهترین کننده هستند ،مانند هیدروژن.
- یکی از بهترین کند کننده ها برلیوم است که باعث کاهش سرعت خوبی می شود و نقطه ذوب بالایی دارد.
- نقطه ضعف آب سبک آن است که باید کاملا خالص باشد و فشار آنهم بالا باشد.
- نقطه ضعف آب سنگین قیمت زیاد آن است.
- نقطه ضعف گرافیت اکسید شدن گرافیت در دما های بالا است.

میله های کنترل

برای تولید کنترل شده انرژی باید تعداد عمل شکافت درداخل راکتور ثابت بماند.این کنترل توسط میله های کنترل صورت می گیرد.میله های کنترل از جنس موادی با قابلیت جذب بالای نظیر کادمیوم ،هافنیوم وپیوند های بور ساخته میشوند.





با بالا و پایین بردن این میله ها در داخل راکتور، جریان نوترونها شدید و یا ضعیف تر می شود.

برای خاموش کردن راکتور میله های کنترل تا انتها در راکتور فرو برده میشوندوهمچنین در مواقع بروز خطر این میله ها به طور اتوماتیک و خیلی سریع تا انتها داخل راکتور شده وآن را از کار می اندازند.

خنک کننده

نوترون های آزاد شده در عمل شکافت ،بر اثر برخورد با کند کننده انرژی جنبشی خود را تحویل ذرات کند کننده می دهند و در ضمن گرم کردن آن خود تبدیل به نوترون های آهسته می شوند.
با گذشت زمان مدراتور گرم میشود وبا دور شدن ذرات آن از یکدیگر،ازتعداد برخورد نوترون ها با آن کاسته می شود لذا سرعت نوترون ها به اندازه کافی کاهش نمی یابد و درنتیجه تعداد عمل شکافت برای برطرف کردن این عیب باید مدراتور را دائما خنک کرد.
رو به کاهش می رود.

- ✓ در راکتور های با کند کننده مایع از همان مدراتور برای خنک کردن رامتور استفاده می شود ولی برای خنک کردن راکتور های با مدراتور جامد اغلب ازگاز CO_2یا هلیوم (He) و یا از مایع ناتریم و ویسموت استفاده می شود .
- ✓ خنک کننده به کمک پمپ یا دمنده در داخل قلب و مبادله کن های گرما جریان می یابد.جهت معمول جریان خنک کننده در راکتور به سمت بالا است.
- ✓ خنک کننده گرمای درون راکتور را جهت تولید برق به بیرون از آن انتقال می دهد.

منعکس کننده یا رفلکتور

حرکت نوترون ها در راکتور کاملا تصادفی است در نتیجه به دلایلی تعدادی از نوترون ها از محل عمل که قلب راکتور است خارج شده و به اطراف پراکنده می شوند ، این پراکندگی نوترونها به عنوان تلفات راکتور محسوب می شود.
ازاین جهت سعی می شود به کمک وسیله ای شبیه آینه (معمولا از جنس گرافیت یا برلیوم) که دورتادور قلب راکتور را پوشانده ،نوترون های منحرف شده را بدون جذب آنها مجددا به داخل قلب راکتور منعکس نمود.

سوخت

سوخت اصلی راکتور های هسته ای اورانیوم می باشد که در انواع مختلف راکتورها،ترکیبات متفاوت آن مورد استفاده قرار می گیرد.در راکتور های قدرت از اورانیوم غنی شده(۳٪ اورانیوم ۲۳۵) به عنوان ماده ی شروع کننده یشکافت هسته ای استغاده میشود ،البته در بعضی از راکتور ها می توان از اورانیوم طبیعی هم استفاده می کنند.پلوتونیوم هم فلز دیگری است که به عنوان سوخت در راکتور ها استفاده میشود.

- این سوخت ها به صورت میله، تسمه، ورقه، گلوله وشبکه در راکتور استفاده می شود..

حفاظ ایمنی راکتور

حصر فرآورده های ناشی از شکافت هسته ای و سوخت وجلوگیری از خروج تشعشعات رادیواکتیو به محیط زیست ،مهمترین شرط برای بهره برداری بی خطر از راکتورها می باشد.به این دلیل موانع بسیاری بر سر راه رها سازی فراورده های شکافت قرار داده می شود.
حفاظ ایمنی شامل غلاف میله های سوخت، مخزن فشار، محافظ بیولوژیکی، محفظه ایمنی وساختمان راکتور است.

راکتور های قدرت

انواع راکتور های قدرت مورد استفاده برای تولید انرژی:

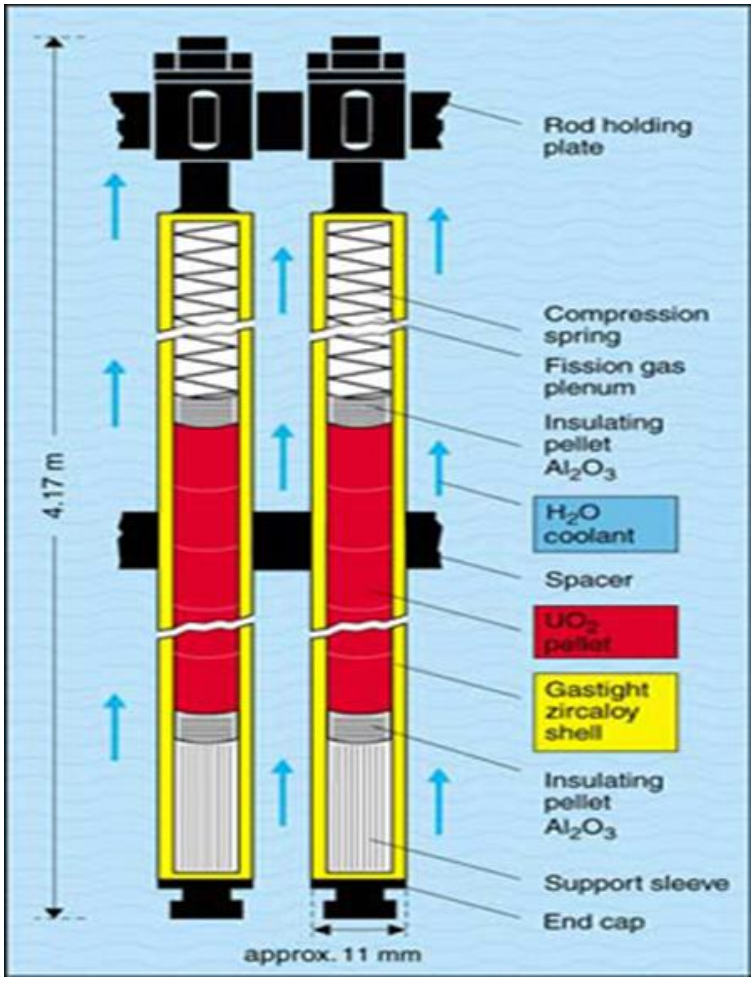
1. راکتور آب تحت فشار PWR
2. راکتور آب جوشان BWR
3. راکتور با خنک کننده گازی در دمای بالا HTGR
4. راکتور آب سنگین تحت فشار PHWR
5. راکتور زاینده سریع با فلز مایع LMFBR

نیروگاه های با راکتورآب سبک تحت فشار PWR

- ✓ آب سبک به عنوان خنک کننده و در حال مدراتور در مخزن فشار راکتور آنها در جریان است.
- ✓ از سوخت اورانیوم تا ۳٪ غنی شده استفاده می کنند.سوخت را پس از آماده سازی اولیه به صورت قرص هایی از جنس دی اکسید اورانیوم غنی شده با قطر حدود ۱۰mm وارتفاع حدود 15mm در می آورند.این قرص ها در داخل میله هایی توخالی قرار می گیرند و بدین ترتیب میله های سوخت را به وجود می آورند.

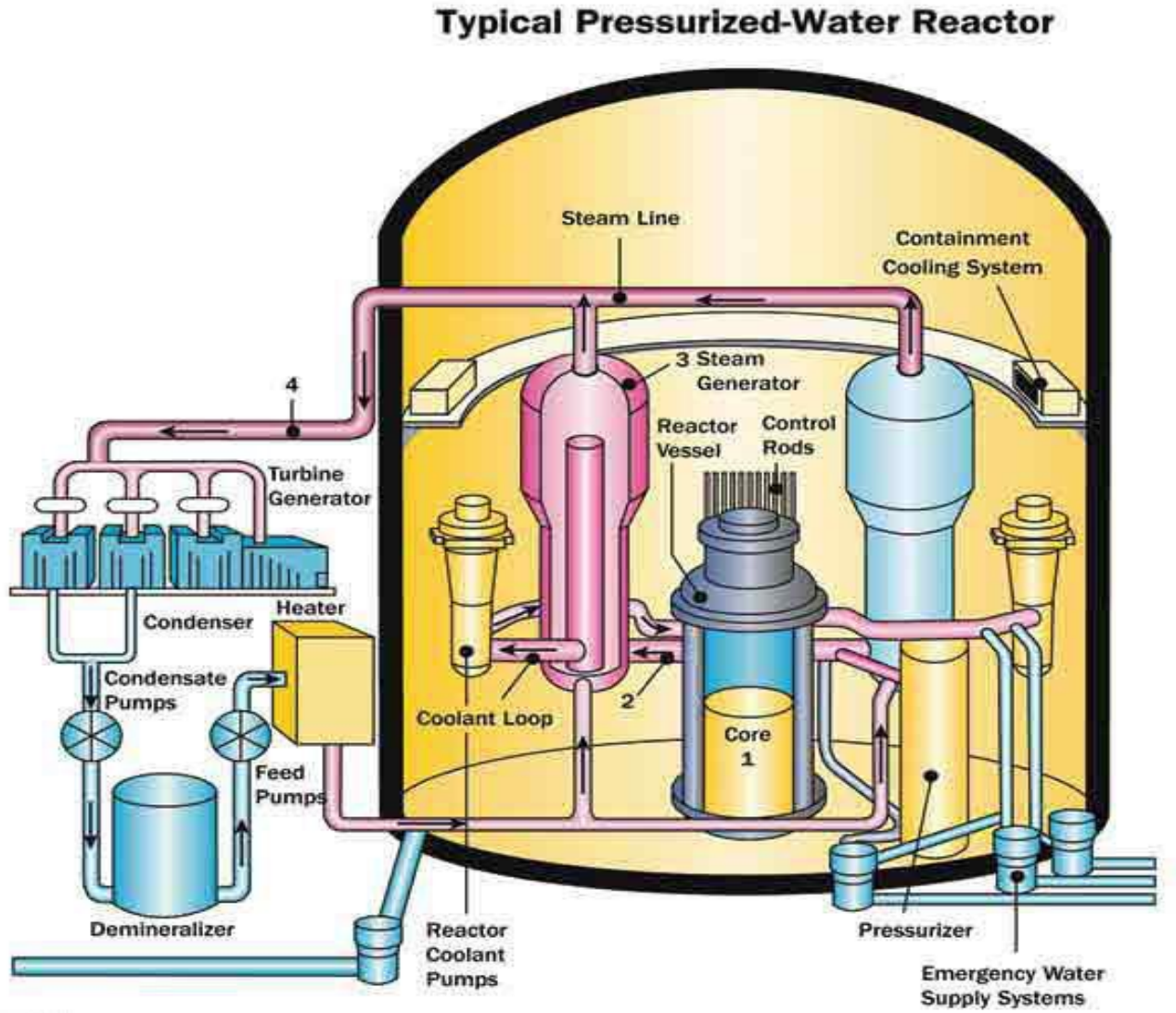
- ➢ وظیفه میله های سوخت جلوگیری از فرسایش قرصها ونگه داشتن فرآورده های شکافت داخل خود و مقاومت در برابر درجه حرارت بالا و تشعشعات رادیو اکتیو است.
- ➢ سوخت های هسته به صورت مجتمع هایی از میله های سوخت در قلب راکتور قرار می گیرند.

شکل ۷. یک تجمع سوختی هندی مورد استفاده در PHWR



نیروگاه های PWR دارای دوسیکل مستل از هم هستند.در سیکل اولیه آب تحت فشار در راکتور جاری می باشد و در سیکل ثانویه ،سیال که آن نیز آب سبک است،جریان دارد.

- ✓ در این راکتور ها، انرژی آزاد شده از شکافت هسته ای در قلب راکتور آنتالپی آب تحت فشار زیاد را افزایش می دهد و در نتیجه دمای این آب بالا می رود.
- ✓ با توجه به اینکه آب مذکور دارای فشار زیادی می شود،لذا حرارت ناشی از واکنش هسته ای باعث بخار شدن آن نمیشود پس حرارت ایجاد شده توسط آب تحت فشار به خارج از راکتور مذکور انتقال می یابد ودر یک مبدل حرارتی،حرارت خود را به آب اصلی نیروگاه می دهد که خود باعث بخار شدن آب ثانویه می شود.این بخار در به حرکت درآوردن توربین بخار استفاده می شود.
- ✓ به منظور کنترل فشار آب موجود در سیکل اولیه از یک مخزن کنترل کننده فشار(Pressurizer) استفاده میشود.
- ✓ برای افزایش بازدهی راکتور میتوان از چند دیگ بخار به ازای هر راکتور استفاده کرد.


Typical Pressurized-Water Reactor
Steam Line
Containment Cooling System
3 Steam Generator
4
Reactor Vessel
Control Rods
Turbine Generator
Condenser
Heater
Condensate Pumps
Coolant Loop
2
Core 1
Feed Pumps
Demineralizer
Reactor Coolant Pumps
Pressurizer
Emergency Water Supply Systems

در سیکل اولیه که یک سیکل بسته است،ابتدا آب خنک شده توسط پمپ اصلی به سمت راکتور تحت فشار هدایت می شود.در این راکتور با شکافت هسته ای اورانیوم، حرارت بسیار زیادی تولید می شود که توسط آب موجود در راکتور، جذب می گردد تا دمای آن بالا رود .اکنون این آب با فشار و دمای بالا قادر است حرارت خود را در دیگ بخار به آب اصلی نیروگاه (آب سیکل ثانویه) تحویل دهد و بخار مورد نیاز را برای به حرکت درآوردن توربین تولید نماید. بخار داغ خارج شده از مولد بخار به سمت توربین فشار قوی منتقل می شود و پس از انبساط اولیه بخار در توربین، مجددا دمای بخار توسط لوله های ری هیتر بالا رفته و وارد توربین فشار ضعیف می شود.

ترتیب و نوع توربین های مورد استفاده به قدرت مگاوات تولیدی نیروگاه بستگی خواهد داشت.

بخار خارج شده از توربین های فشار ضعیف (پس از چرخش درآوردن محور توربینها) در کندانسور توسط آب خنک کننده خنک می شود. سپس آب موجود در کندانسور توسط پمپ تخلیه کندانسور به سمت گرمکن آب تغذیه فشار ضعیف، پمپ تغذیه و گرمکن آب تغذیه فشار قوی هدایت می شود و نهایتا با ورودی به مولد بخار سیکل ترمودینامیکی کامل می گردد.

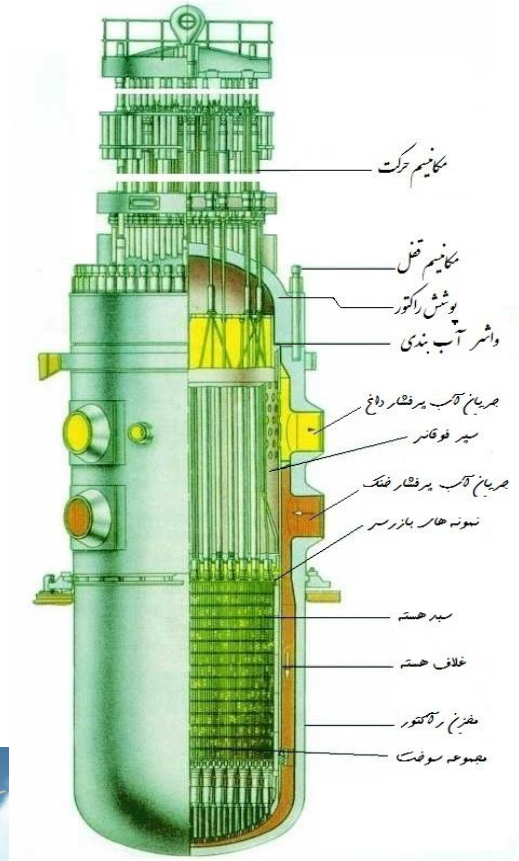
سیکل ثانویه، تقریبا شبیه یک سیکل نیروگاه بخاری است. با این تفاوت که ایجاد بخار در دیگ بخار توسط آب داغ خروجی از راکتور هسته ای مهیا می شود.

ویژگی های نیروگاه های آب سبک تحت فشار

- ✓ کوچک بودن رآکتور آنها در مقایسه با سایر رآکتورهای هسته ای
- ✓ آب سبک در آن هم نقش خنک کننده، هم مدراتور، هم منعکس کننده و هم سیال را ایفا می کند.
- ✓ خنک کننده رآکتور به دلیل تحت فشار بودن، بخار نمی شود و فقط ناقل انرژی حرارتی است.
- ✓ بازدهی این نیروگاه ها پایین بوده و حدود ۳۰ و میزان سوختگی سوخت در آن حدود ۳۲ مگاوات در روز به ازای یک کیلوگرم است.

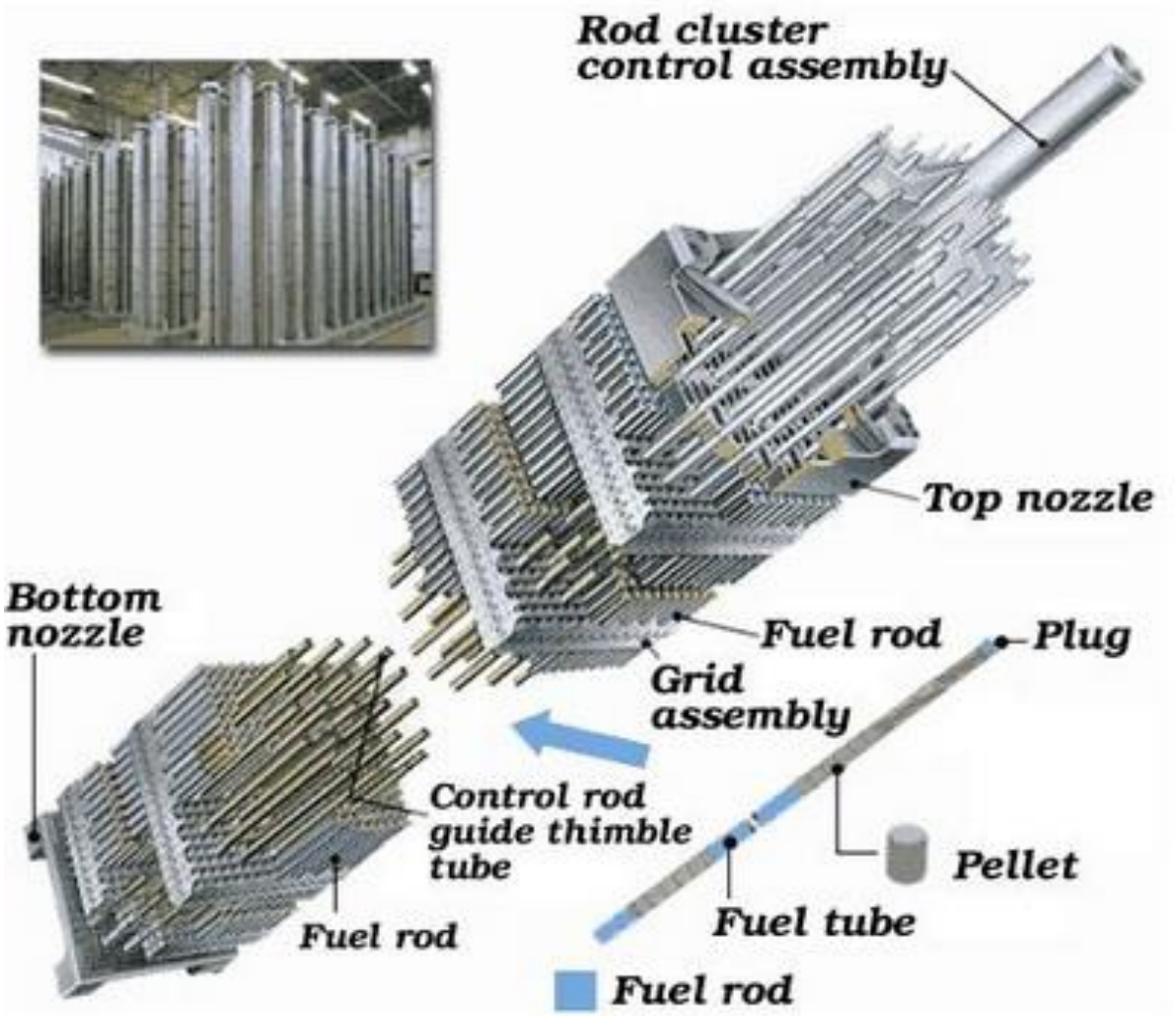
قلب راکتورآب تحت فشار

شامل میله های حاوی سوخت و سیستم کنترل آن می باشد.به طور نمونه میله های سوخت در ۱۶ ردیف ۱۶ تایی (۱۶*۱۶) که دارای اورانیوم غنی شده به شکل ساچمه می باشند. هم چنین تعداد ۲۰ عدد میله های کنترل که قابل نفوذ در میله های سو



راکتور وی. وی. آی. آر ۱۰۰۰
با توان ۱۰۰۰ مگاوات ساخت روسیه

مثال: نیروگاه بوشهر از نوع PWR است.



شکل ۳. تصویر شماتیک از آرایه ی سوخت PWR

رآکتور آب جوشان BWR

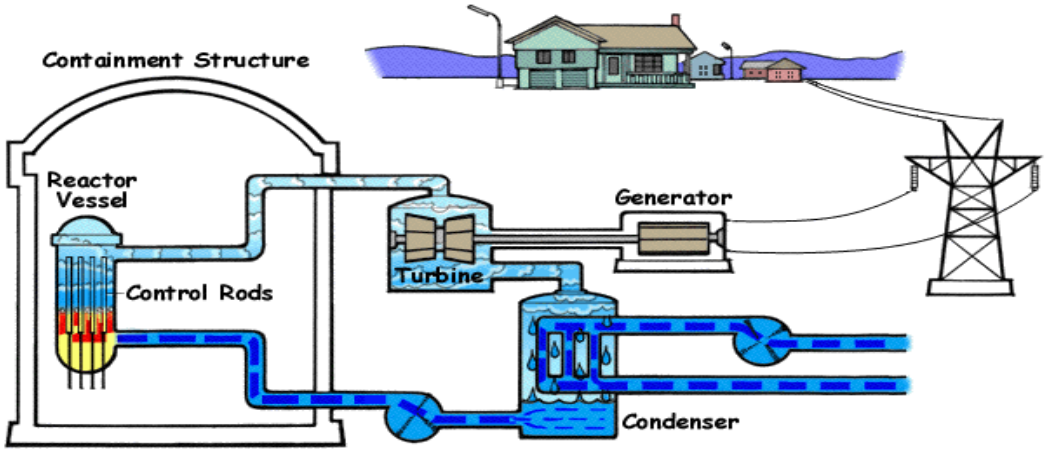
بخار مورد نیاز توربینها مستقیما در داخل قلب رآکتور تولید می شود. بعبارت دیگر تفاوت این نوع رآکتورها با رآکتورهای تحت فشار در آن است که مدراتور رآکتورهای BWR (که همان آب خالص است) تحت فشار زیادی قرار ندارد و فشار آن متناسب با فشار بخار مورد نیاز در توربینهای بخاری نیروگاه می باشد. به همین جهت، آب سیکل در اثر جذب حرارت ناشی از واکنش هسته ای در رآکتور داغ می شد و در همانجا به بخار تبدیل می شود. سپس همین بخار پس تافته وارد توربین های نیروگاه می شود.

در واقع بخار ایجاد شده در رآکتور مستقیما به سمت توربین بخار هدایت می شود، تا پس از انجام کار در توربین فشار قوی و ضعیف و پس از عبور از کندانسور، خنک شود. در نهایت آب خنک شده در رآکتور آب جوشان مورد استفاده قرار می گیرد.

*از مزایای این نوع نیروگاه آن است که دیگر نیازی به مبدل بخار ندارد و هم چنین لازم نیست که قطعات رآکتور، تحت فشار زیاد قرار گیرند.

مخزن اصلی رآکتور با آب جوشان به شکل لوله استوانه ای است که از بالا به شکل یک سرپوش استوانه ای و از پایین به وسیله یک مخزن پوشیده شده است.

هم چنین مجزاکننده آب و بخار و سیستم خشک کننده بخار در بخش بالایی رآکتور هستند.



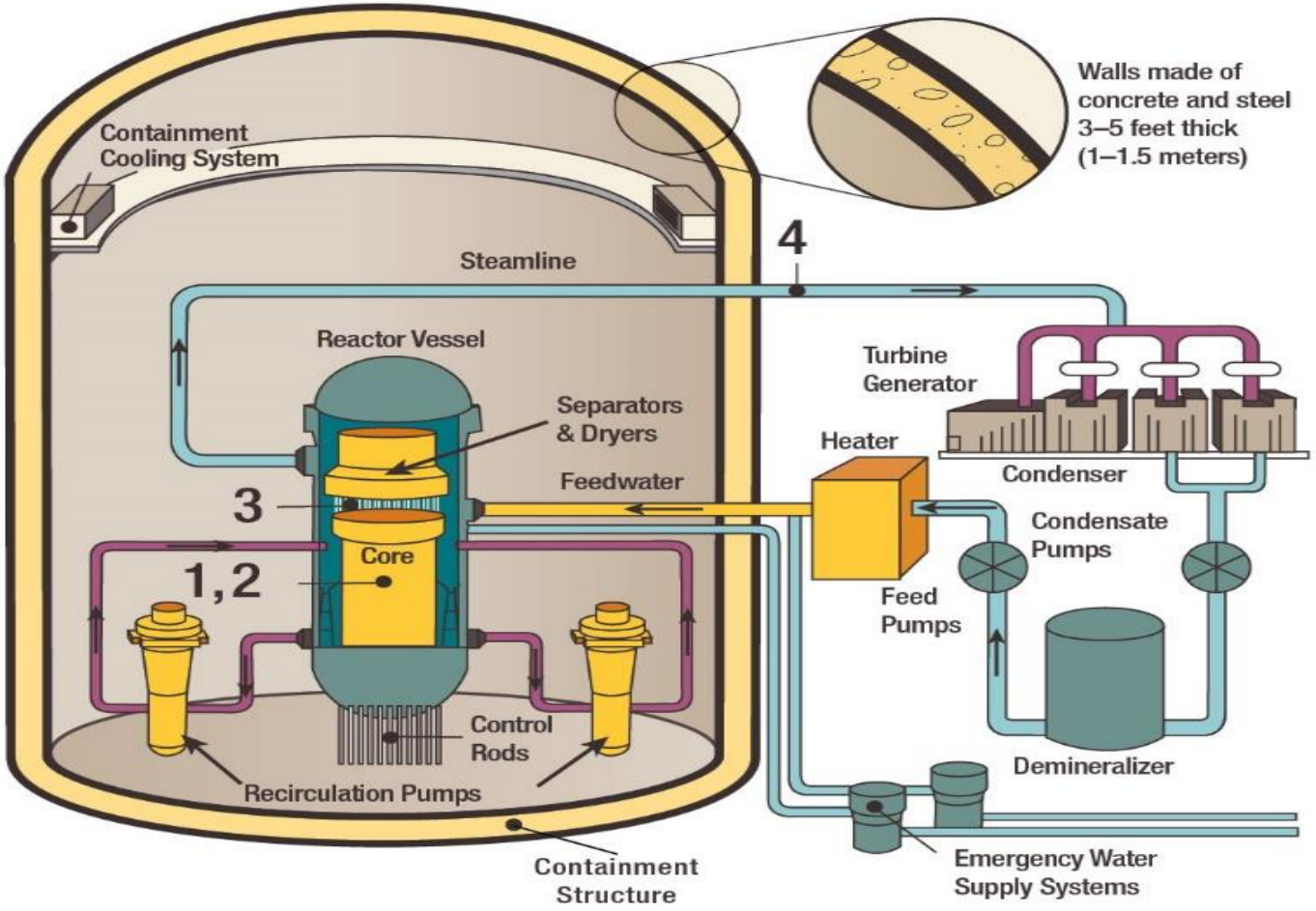
آب ورودی به رآکتور توسط پمپ های تحتانی رآکتور در درون قلب رآکتور به گردش در می آید. با عبور آب از درون قلب رآکتور و دریافت انرژی حرارتی ناشی از شکافت هسته ای بخار تولید می شود که سبک بودن آن باعث می شود تا بخار به سمت بالای رآکتور هدایت شود.

با توجه به امکان وجود قطرات آب در داخل بخار ایجاد شده، جداکننده بخار و آب در بالای هسته رآکتور نصب می شود.عمل جداسازی قطرات آب از بخار صورت گیرد. سپس بخار جدا شده پس از عبور از تجهیزات خشک کننده بخار، از میان نازل های خروجی از رآکتور خارج می شود تا به سمت توربین ها هدایت شود.

آب سبک هم خنک کننده و هم موتور است و سوخت آن اورانیوم ۲۳۵ و ۲ تا ۳ درصد غنی شده است.

این نیروگاه ها فقط دارای یک سیکل هستند.

Typical Boiling-Water Reactor



ویژگی های نیروگاه های آب سبک جوشان BWR

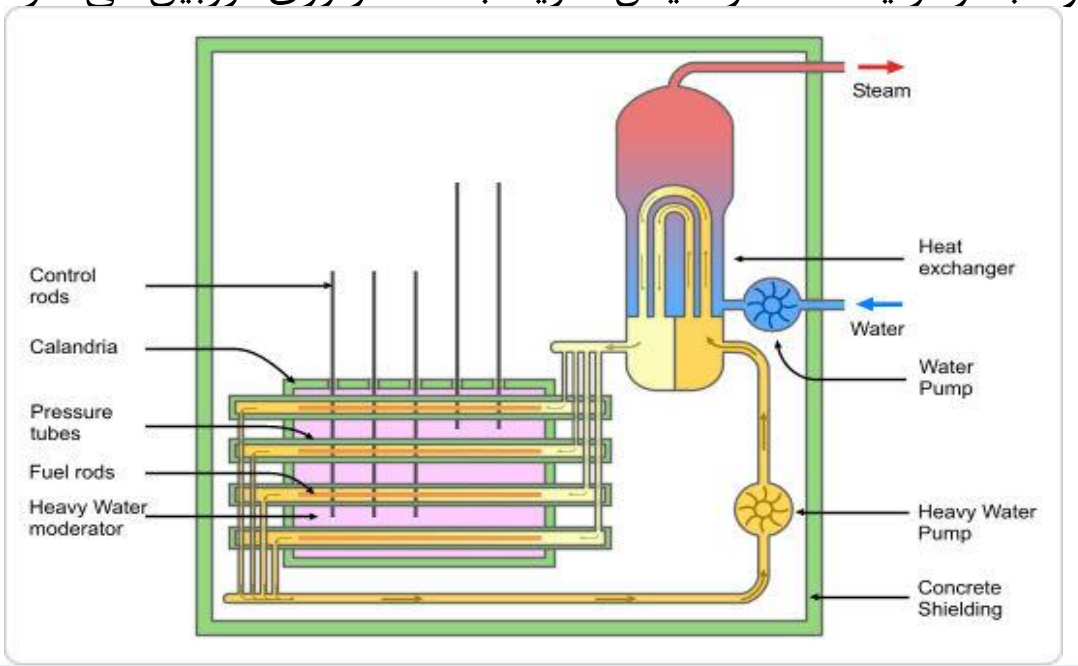
- ✓ هزینه احداث کمتر نسبت به PWR به دلیل فشار کمتر موجود در رآکتور
- ✓ تلفات حرارتی کمتر، بازدهی بیشتر نسبت به PWR به دلیل عدم نیاز به مبدلهای گرمایی
- ✓ بازدهی حدود ۳۶ درصد و میزان سوختگی سوخت ۲۷.۵ مگاوات روز به ازای یک کیلوگرم است.
- ✓ اگرچه رآکتور آنها بزرگتر است (نسبت به PWR) اما مجموعه نیروگاه کوچکتر است.
- ✓ در این نیروگاه ها چون خشک کننده ها و جداکننده های بخار از آب در قسمت بالای مخزن رآکتور قرار دارند، میله های کنترل در قسمت تحتانی و بر خلاف نیروی جاذبه زمین به داخل رآکتور وارد می شوند که تا حدودی از میزان ایمن بودن آنها نسبت به PWR که از بالا به پایین می آیند می کاهد

نیروگاه های با رآکتور آب سنگین تحت فشار (PHWR)

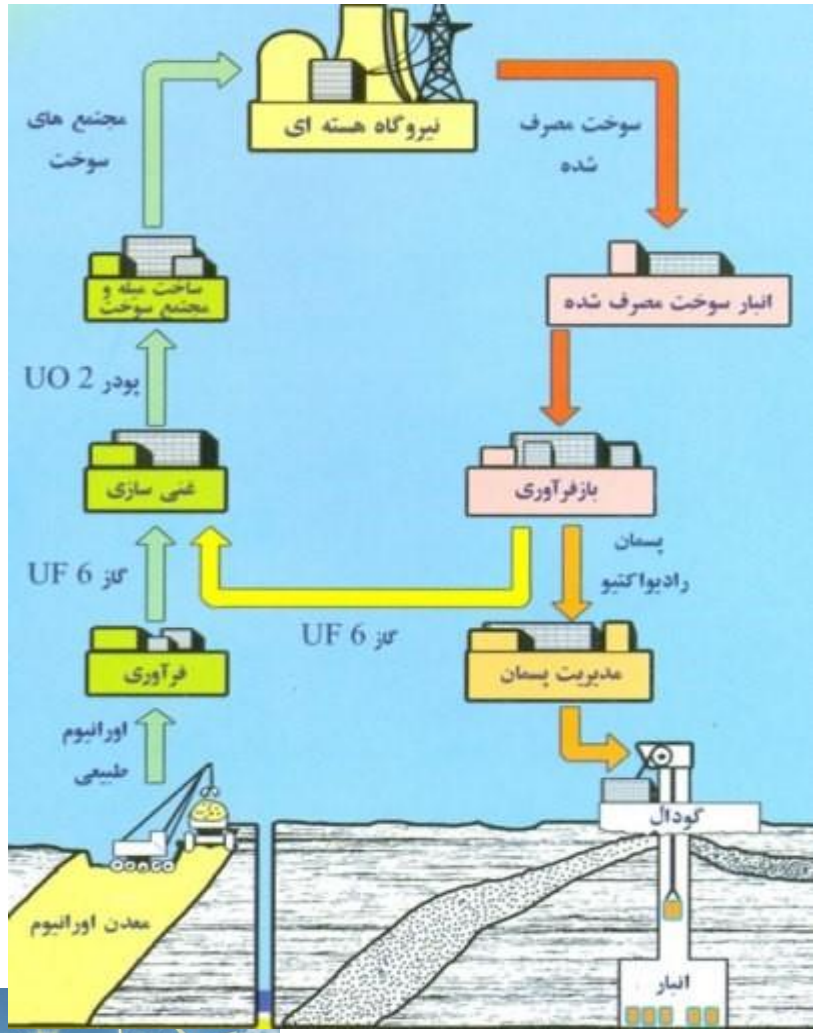
در این نیروگاه ها آب سنگین (D2O) به عنوان خنک کننده و نیز مدراتور در داخل رآکتور مورد استفاده قرار می گیرد.
از خواص ویژه آب سنگین، قابلیت جذب کنندگی خیلی پایین نوترون است که این خصوصیت آنرا کندکننده ای مناسب برای استفاده در رآکتور می سازد و استفاده از سوخت اورانیوم طبیعی که نسبت به اورانیوم غنی شده بسیار ارزانتر است را به عنوان سوخت هسته ای رآکتور امکان پذیر می سازد.
احداث این نوع نیروگاه ها در کشورهایی که دارای منابع اورانیوم ولی فاقد تکنولوژی غنی سازی اورانیوم هستند، بسیار مناسب است.
انواع متعددی از این نیروگاه ها در جهان ساخته شده است ولی نوع کانادایی آن که CANDU نامیده می شود، بیشتر از انواع دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.
در CANDU ، آب سنگین مدراتور، اکسید اورانیوم طبیعی سوخت و آب سنگین تحت فشار بع عنوان خنک کننده استفاده می شوند. البته مدراتور سرد تحت فشار نیست و در یک محفظه استوانه ای کالاندریا (Calandria Tubes) قرار دارد که لوله های متحدالمرکز کالاندریا و لوله های فشار از آن عبور می کنند. لوله های فشار هادی دسته هایی از میله های سوخت هستند که با آب سنگین تحت فشار خنک می شوند.
گرمای حاصل از خنک کننده در دیگ بخار، بخار آب معمولی تولید می کند و این بخار توربینها را مشابه با سیکل هسته ای PWR به حرکت در می آورد.

یکی از مزایای رآکتورهای آب سنگین نوع CANDU ، امکان تعویض مجتمع های سوخت در حین بهره برداری است که مشکل چند هفته خاموش کردن سالیانه رآکتور به منظور سوخت گیری را که در اغلب رآکتورهای دیگر ضروری است، منتفی می نماید.

نحوه کارکرد : آب سنگین تحت فشار خنک کننده با درجه حرارتی در حدود ۴۵ درجه سانتی گراد وارد لوله های کالاندریا می شود و با کسب گرما، دمای آن تا حدود ۷۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. خنک کننده پس از خروج از لوله های کالاندریا، گرمای حاصله را در یک مبدل حرارتی (دیگ بخار) به آب معمولی انتقال می دهد و سبب بخارشدن آن می شود. بخار تولید شده در سیکل ثانویه، باعث کار روی توربین می شود.



سیکل سوخت هسته ای:



1. اورانیوم استخراج شده بلافاصله قابل استفاده در نیروگاه های هسته ای نیست.
2. برای بدست آوردن بیشترین بازده از ابتدا غلظت آن را بالا می برند.
3. چرخه سوخت اورانیوم نسبت به سوخت های رایج پیچیده تر است.
4. این سیکل از دو بخش تشکیل شده است : انتهای جلویی ، انتهای عقبی
5. انتهای جلویی : مراحلی که منجر به آماده سازی اورانیوم به عنوان سوخت راکتور می شود و شامل استخراج از معدن ، آسیاب کردن ، تبدیل ، غنی سازی ، تولید سوخت است.
6. بخش عقبی : انبارداری موقتی ، بازفراوری کردن و انبارداری نهایی

مرحله اکتشاف:

- ✓ استفاده از مطالعات زمین شناختی ، آشکارسازها در عمق ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر
- ✓ ذخایر کانی اورانیوم به صورت رگه یافت می شوند.
- ✓ بزرگترین رگه ها در کشور کانادا هستند.
- ✓ ممکن است به صورت سنگهای ماسه ای و ترکیبات معدنی دیگر هم موجود باشد.
- ✓ در ایران: نقاط مرکزی ، رامسر و محلات

سنگ اورانیوم

مرحله استخراج:

- روش استخراج مشابه سایر کانی ها
- به صورت روباز یا حفر تونل یا استفاده از محلول های نفوذ کننده و استخراج به صورت نیمه مایع

آماده سازی:

- به دلیل پایین بودن غلظت در محل آماده سازی می شود
- بعد از اسیاب کردن سنگ و جدا اسزی اورانیوم پودر غلیظ اورانیوم زردرنگی به نام کیک زرد به صورت دی اکسید اورانیوم حاصل می شود.

تبدیل اورانیوم:

غنی سازی اورانیوم نیازمند حالت گازی کیک زرد است پس از مراحل شیمیایی هگزا فلورید اورانیوم به دست می آید.
این ماده جامد و بدون رنگ است و در حرارت کمتر از درجه سانتیگراد به شکل گاز در می آید و جهت حمل و نقل و برای جلوگیری از تبدیل شدن به گار در ظروف تحت فشار زیاد قرار می گیرد.

غنی سازی:

- ✓ برای قابل استفاده بودن باید آن را تا ایزوتوپ قابل شکافت خنثی کرد.
- ✓ سطح غنی سازی برای آب سبک باید ۵ درصد و برای بمب اتمی باید ۹۰ درصد باشد.

غنی سازی با یک یا چند روش جداسازی ایزوتوپ های سنگین وسبک صورت میگیرد. یکی از موثر ترین روش های غنی سازی ،روش سانتریفیوژ گاز است.
امروزه از روش لیزر مولکولی برای جداسازی ایزوتوپ ها استفاده می شود.

مرحله ساخت سوخت:

- ✓ اورانیوم غنی شده باید به صورت پودر دی اکسید کربن درآید.
- ✓ پورد فشرده شده و به قرص تبدیل می شود .
- ✓ مقاومت بالای قرص ها در مقابل خوردگی و رسانایی حرارتی بسیار بالا
- ✓ قرار گرفتن اجزاء کنارهم

باز فرایابی سوخت:

بعد از یک سال فعالیت راکتور بخشی از سوخت از هسته خارج می گردد و با سوخت جدید جایگزین می شود و اجزای باقیمانده جمع آوری می شود و امکان دارد در نیروگاه سوخت مصرف نشده دوباره در نیروگاه مورد استفاده قرار گیرد.

ذخیره اجزای سوخت:

سوخت مصرف شده که از راکتور خارج می شود بسیار داغ و رادیواکتیو است و تشعشات فراوانی دارد.

باید آن را سرد کرد و از تشعشع آن جلوگیری نمود.

در مخزن سوخن ذخیره می شود و در آنجا خنک می شود تا زمانی که فعالیت واکنش شکافت هسته ای به کمتر از حد مجاز برسد در مخزن می ماند و مدام سرد می شود.

دفع زباله ها: مواد جامد شده رادیو اکتیو در حفره های نمک در مناطق دورافتاده دفن میشود.

ایمنی نیرو گاه های هسته ای:

راکتور های هسته ای در صورت فوق بحرانی شدن که همراه با افزایش شکافت وافزایش دمای راکتور است باعث گرم شدن بیش ازحد و ذوب شدن مجتمع سوخت و رها شدن فراورده های پرتوزا در محیط و افزایش خیلی سریع دماها و فشار ها وشکسته شدن مخزن فشار و دیگر بخش های راکتور می شود

منشا خطا:

- ✓ واکنش زنجیره ای کنترل نشده درون راکتور
- ✓ پمپ ها و رله ها
- ✓ کلید ها و سنسور ها
- ✓ خطا های انسانی و خدمه

شرایط ایمنی در راکتور های هسته ای:

1. تحت تمام شرایط قایل پیش بینی امکان خاموش کردن مطمئن و سریع راکتور وجود داشته باشد.
2. گرمایی که از واپاشی فراورده های شکافت بعد از خاموشی راکتور توسط سوخت ان تولید می شود باید به نحو مطمئن به جایی در خارج منتقل شود.
3. فراورده ای شکافت باید درجایی مطمین نگهداری شود.

لازم است سوخت بلافاصله و سریع پس از خاموش کردن راکتور خنک شود.
زیرا بلافاصله پس از خاموش کردن راکتور،توان نسبی حاصل از واپاشی فرآورده های ناشی از شکافت تقریبا یکسان است زیرا در این زمان فرآورده های شکافت با نیم عمر کوتاه، بیشتر توان واپاشی را تولید می کنند.لذا باید چرخه خنک کننده پس از خاموش کردن راکتور برای انتقال حرارت واپاشی همچنان ادامه یابد.