

BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS FIZIKINIAI PAGRINDAI

Viktorija Tamulienė

Vilniaus universitetas
Fizikos fakultetas

2015–2018 rudo
XV paskaita

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

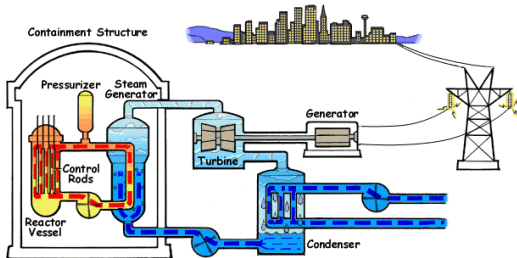
- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Branduolinis reaktorius. Įvadas

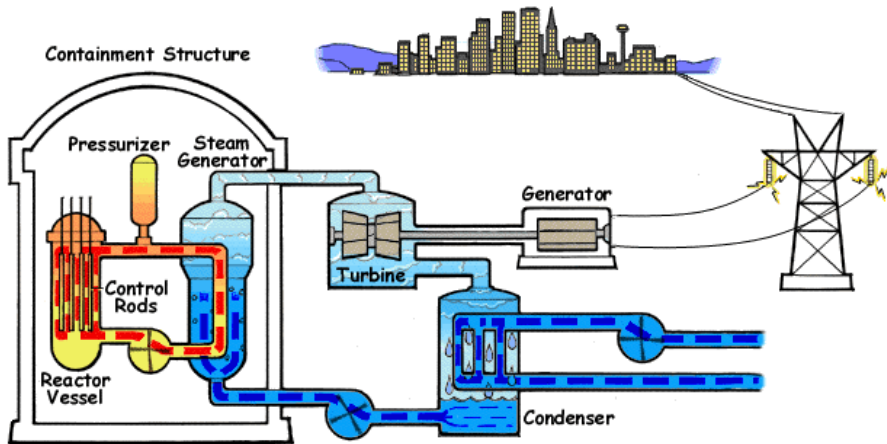
Branduolinis reaktorius – tai įrenginys, kuriame, vykstant branduolinėms reakcijoms, išsiskiria milžiniškas šilumos kiekis. Iš principo galimi du pagrindiniai reaktorių tipai: **dalijimosi reaktorius** ir **sintezės reaktorius**, tačiau pastarasis iki šiol dar nesukurtas (vykdomi tyrimai). Visų šių dienų atominių (branduolinių) elektrinių pagrindą sudaro dalijimosi reaktorius. Kiekviena šių elektrinių gamina (skaičiuojant kuro masės vienetui) gerokai daugiau elektros energijos (elektros) negu bet kokia kita elektrinė.

Branduolinis reaktorius. Įvadas

Dalijimosi reaktorius. Branduolinis reaktorius, kuriame šiluma išsiskiria vykstant branduolių dalijimuisi. Elektrinėse eksploatuojami dviejų tipų reaktoriai: šiluminių neutronų ir greituųjų neutronų. Juose abiejuose kaip kuras naudojamas uranas. Jis laikomas ilguose cilindruose, įtaisytuose reaktoriaus centre esančioje **aktyviojoje zonoje (šerdyje)**. Grandininės reakcijos greitis (taigi ir elektros gamyba) griežtai kontroliuojamas **valdymo strypais**.



Branduolinis reaktorius. Įvadas



Dalijimosi reaktoriaus ir elektrinės komplekso schema.

Branduolinis reaktorius. Įvadas

- Reaktoriaus **aktyvioji zona**. Kure vykstant branduolinėms reakcijoms, išsiskiria šiluma, kuria kaitina šilumnešį.
- Į aktyviąją zoną įvesti **valdymo strypai** paprastai gaminami iš boro ar kadmio (jie geriausiai sugeria neutronus, taigi lėtina reakciją). Nuleidžiami į tam tikrą gylį, kad palaikytų pasirinktą pastovų grandininės reakcijos greitį, tačiau juos galima nuleisti arba pakelti, kad sugertų daugiau ar mažiau neutronų.
- Įkaitęs **šilumnešis** nukreipia šilumą.
- **Garų generatorius**. Šilumnešis kaitina atskirame kontūre esantį vandenį, kol šis virsta garais.
- Garai perneša šilumą.
- **Turbina**. Garai naudojami elektrai gaminti.
- Atskiras vandens kontūras naudojamas garams kondensuoti (paversti vandeniu).
- Vanduo grąžinamas atgal.
- Užterštas ir panaudotas kuras siunčiamas į regeneravimo gamyklą, kur iš jo išskiriamos naudingos medžiagos.

Branduolinis reaktorius. Įvadas

Sintezės reaktorius. Kol kas dar nesukurtas branduolinis reaktorius, kuriame šiluma turėtų išsiskirti vykstant **branduolių sintezei**. Greičiausiai tai bus vandenilio izotopų – deuterio ir tričio – branduolių sintezė, žinoma kaip D-T reakcija. Kad sintezės reaktorius taptų realybe, reikėtų išspręsti keletą svarbių problemų. Jis turėtų gaminti keturis kartus daugiau energijos, tenkančios masės vienetui, negu dalijimosi reaktorius. Be to, vandenilio yra pakankamai, o urano randama mažai, antra vertus, jo gavyba pavojinga ir brangi.

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - **Dalijimosi reaktorius**
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Dalijimosi reaktorius

Techniniai įrenginiai, kuriuose vykdomos valdomos sunkiųjų branduolių dalijimosi reakcijos. 1942 m., vadovaujant E. Fermiui, JAV paleistas pirmasis branduolinis reaktorius.

Gamtinis uranas susideda iš 0,71 proc. izotopo ${}_{92}^{235}\text{U}$ ir 99,29 izotopo ${}_{92}^{238}\text{U}$. Pirmojo izotopo branduolius padalija bet kokios energijos neutronai, antrojo – tik tie, kurių kinetinė energija ne mažesnė kaip 1 MeV. Tačiau urano izotopo ${}_{92}^{238}\text{U}$ branduolys, sugėręs ir tokios didelės energijos neutroną, gali nepasidalyti, o tik susižadinti. Kiek vėliau sužadavimo energija išspinduliuojama γ kvantų pavidalu. Šitoks reiškinys vadinamas *radiaciniu neutronų pagavimu*.

Dalijimosi reaktorius

Dalijimosi metu atsiranda greitieji neutronai – kiekvieno jų vidutinė energija apie 2 MeV. Tačiau po keleto susidūrimų su atomo branduoliais šių neutronų energija sumažėja – ji nesiekia 1 MeV. Neutronus, kurių energija yra nuo 0,25 MeV iki 1 MeV, urano izotopo ${}_{92}^{238}\text{U}$ branduolys labai gerai sugeria, bet po to nesidalija. Be to, kaip minėjome, dalis antrinių neutronų iš aktyviosios zonos išlekia. Taigi dėl visų minėtų priežasčių gamtiniame urane branduolinė dalijimosi reakcija savaime nevyksta. Gamtiniame urane ją galima sukelti tik labai efektyviai lėtinant antrinius neutronus (kad kuo greičiau jų energija pasidarytų mažesnė už 0,25 MeV). Pasirodo, šiluminiais neutronais apšaudant urano izotopo ${}_{92}^{235}\text{U}$ branduolius, branduolinės reakcijos efektyvusis skerspjūvis $\sigma \approx 582$ barnams, o apšaudant ${}_{92}^{238}\text{U}$, – dydis $\sigma \approx 2,73$ barnams. Tuomet parinkus pakankamą kiekį (krizinę masę) branduolinės medžiagos, gamtiniame urane jau vyktų grandininė branduolių dalijimosi reakcija.

Dalijimosi reaktorius

Kaip žinome, tampriai susiduriant tik artimos masės dalelėms, jos gali viena kitai efektyviai perduoti energiją. Todėl greitėji neutronai efektyviausiai lėtėtų susidurdami su lėtais protonais. Tačiau protonai nėra optimalus neutronų lėtiklis dėl to, kad jie neutronus gerai sugeria ir virsta deuteronais. Tam tikslui geriau tinka sunkusis vanduo. Čia neutronai lėtėja susidurdami su deuteronais. Tačiau sunkusis vanduo gamtoje mažai paplitęs ir dėl to jo gavyba yra brangi. Daug ekonomiškiau neutronus lėtinti grafitu, beriliu, organiniais skysčiais (lėtina anglies atomai) ir kt.

- 1 **Branduolinė (atominė) energetika**
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - **Dalijimosi reaktorių tipai**
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Dalijimosi reaktorių tipai

Bendrai priimtose reaktorių klasifikacijose nėra. Jie skirstomi įvairiais aspektais. Kai kuriuos jų apžvelkime.

- Reaktoriai gali skirtis aktyviojoje zonoje esančių svarbiausių medžiagų (branduolinio kuro, neutronų lėtiklio, šilumos agento) pobūdžiu. Branduoliniam kurui naudojamas ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{233}\text{U}$, ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{94}^{239}\text{Pu}$, ${}_{90}^{232}\text{Th}$. Šilumos agentas – tai reaktoriaus aktyviają zoną aušinantis skystis. Tam naudojamos įvairios dujos, vanduo, skystieji metalai (K, Na) ir kt. Neretai šilumos agentas taip pat lėtina greituosius neutronus.
- Pagal branduolius dalijančių neutronų energiją reaktoriais skiriami į 1) šiluminį (lėtųjų), 2) tarpinių ir 3) greitųjų neutronų reaktorius. Pirmuosiuose ir antruosiuose naudojami neutronų lėtikliai, trečiuosiuose – lėtiklio nėra.

Dalijimosi reaktorių tipai

Pratęsimas...

- Pagal branduolinio kuro ir lėtiklio paskirstymą aktyviojoje zonoje reaktoriai skirstomi į *homogeninius* ir *heterogeninius*. Pirmuosiuose branduolinis kuras ir lėtiklis sudaro vienalytį mišinį. Antruosiuose tarp branduolinio kuro blokų yra lėtiklis.
- Pagal paskirtį reaktoriai skirstomi į bandomuosius (eksperimentinius), energetinius ir dauginančiuosius (bryderius). *Bryderiuose* naudojamas gamtinis arba truputį izotopu $^{235}_{92}\text{U}$ pasodrintas uranas. Tokiu atveju, be $^{235}_{92}\text{U}$ branduolių dalijimosi, dar vyksta $^{238}_{92}\text{U}$ virsmas $^{239}_{94}\text{Pu}$. Taigi bryderiuose ne tik išskiriama energija, bet ir gaminama branduolinė medžiaga.

- 1 **Branduolinė (atominė) energetika**
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - **Branduolinis reaktorius**
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Branduolinis reaktorius

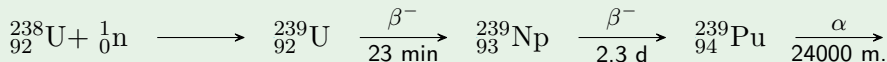
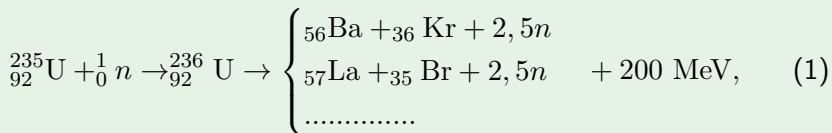
Taigi, branduolinis reaktorius yra įrenginys, kuriame vyksta branduolinė valdomoji reakcija ir išskiriama energija. Pirmąjį branduolinį reaktorių JAV 1942 m. sukonstravo E. Fermis, pirmąjį Europoje – 1946 m. I. Kurčiatovo vadoavaujama Sovietų Sąjungos mokslininkų grupė.

Gamtinį uraną, t.y. izotopų ${}_{92}^{235}\text{U}$ ir ${}_{92}^{238}\text{U}$ mišinį, veikiant neutronais, priklausomai nuo neutronų energijos ir jų pagavos skerspjūvio σ gali vykti labai skirtingos reakcijos. Esant neutronų energijai $\varepsilon < 6$ eV, lengvojo izotopo ${}_{92}^{235}\text{U}$ neutronų pagavos skerspjūvis σ yra daug didesnis – 100–1000 b, o sunkesniojo ${}_{92}^{238}\text{U}$ jis tik apie 10 b. Vadinas, lėtuosius neutronus ($\varepsilon < 6$ eV) labiausiai sugeria izotopas ${}_{92}^{235}\text{U}$, po to jis dalijasi. Tačiau neutronų energijos intervale tarp 6 ir 200 eV yra daug siaurų, bet ryškių (σ beveik 10000 b) rezonansinių sunkiojo izotopo ${}_{92}^{238}\text{U}$ σ maksimumų. Tos pačios energijos intervale yra taip pat ir izotopo ${}_{92}^{235}\text{U}$ σ maksimumų, nors jie yra kiek žemesni. Todėl neutronų energijų intervalas 6–200 eV laikomas pavojinga sritimi, kurioje yra didelė tikimybė, kad neutronas bus pagautas ${}_{92}^{238}\text{U}$ branduolio ir grandininėje reakcijoje nebedalyvaus.

Branduolinis reaktorius

Taigi branduoliniame reaktoriuje gali vykti 2 tarpusavyje konkuruojančios branduolinės reakcijos:

Branduolinės reakcijos reaktoriuje



Pirmoji atitinka grandininę reakciją, joje išskiriama dalijimosi energija ir nauji neutronai, kurie gali toliau tęsti reakciją. Antroji reakcija sunaudoja neutronus ir gamina naujus nuklidus ${}^{239}\text{Np}$ ir ${}^{239}\text{Pu}$, taigi ji grandininės reakcijos eigą stabdo. Branduoliniame reaktoriuje, kad jis veiktų pastoviai, ir, kad nebūtų neutronų nuostolių, reikia jos išvengti.

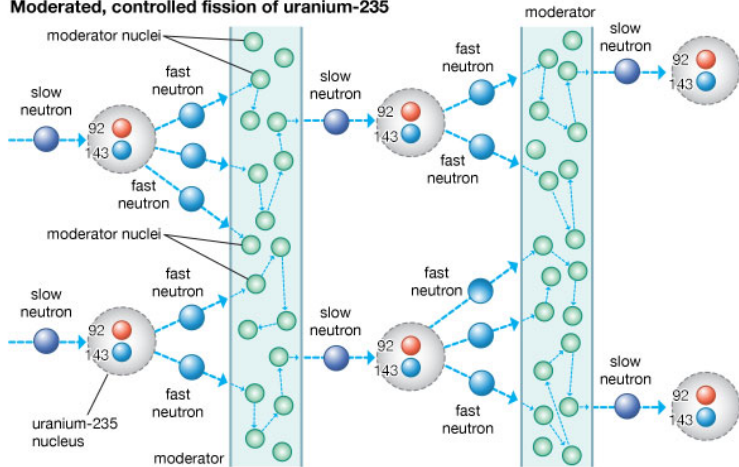
Branduolinis reaktorius

Šis klausimas buvo išspręstas tokiu būdu: kadangi dalijimosi neutronų pradinė energija apytiksliai lygi 2 MeV, ją reikia sumažinti iki 1 eV ir dar mažesnės, o tai pasiekama iš pradžių įleidžiant greituosius neutronus į lėtiklį, kur jie, patyrę daug susidūrimų, praranda savo kinetinę energiją ir tampa lėtaisiais, o po to jiems leidžiama vėl susidurti urano branduoliais; tik tada, būdami jau lėtaisiais, jie su didele tikimybe sugeriami ^{235}U branduolių ir tęsia grandininę reakciją.

Praktiškai tai įvykdoma įtaisant urano strypus į kokį nors lėtiklį, kuris apsupa juos iš visų pusių taip, kad neutronas nuo vieno strypo patektų į kitą, tik sulėtintas. Labai dažnai energiniuose reaktoriuose toks lėtiklis yra grafitas.

Branduolinis reaktorius

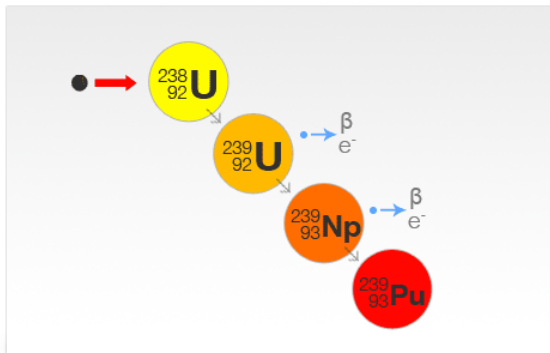
Moderated, controlled fission of uranium-235



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Branduolinės reakcijos reaktoriuje I.

Branduolinis reaktorius



Branduolinės reakcijos reaktoriuje II.

Branduolinis reaktorius

Pagrindinė branduolinio reaktoriaus dalys yra šios: aktyvioji zona, sudaryta iš urano arba kitokio branduolinio kuro strypų, įtaisytų į tam tikrą lėtiklį; ją iš visų pusių supa neutronų atšvaitas, o visa tai – radiacinė sunkaus betono apsauga, kurios tikslas apsaugoti aplinką nuo skvarbios radioaktyviosios spinduliuotės, atsirandančios reaktoriuje.

Vamzdžių pavidalo urano strypai įtaisomi metalinėse kasetėse, per vamzdžius siurbliais varomas aušalas išsiskiriančiai šilumai pašalinti. Jie sudaro reaktoriaus šiluminius elementus, trumpai vadinamus šelais. Kaip aušalas vartojamos įvairios medžiagos: oras, azotas, anglies dioksidas, vanduo, vandens garai ir kt., o greitųjų neutronų reaktoriuose, kur šilumos išsiskiria ypač daug, aušalu vartojamas skystas natrias.

Branduolinis reaktorius

Karštas aušalas iš aktyviosios zonos nukreipiamas į šilumokaitį, kur jis savo šilumą atiduoda vandeniui, paversdamas jį aukštos temperatūros garais, leidžiamais toliau į turbinas, jei reaktorius dirba atominėje elektrinėje, arba šiaip, sunaudojant juos kitiems šilumos energijos reikalaujantiems procesams.

Branduolinis reaktorius

Be to, aktyviojoje zonoje tarp šelių visada įtaisomi reguliavimo ir avariniai strypai iš kadmio arba boro junginių, pvz., boro plieno, t.y. iš medžiagų, smarkiai sugeriančių lėtuosius neutronus. Pirmieji reikalingi štai dėl ko: reaktoriaus darbo metu, vykstant branduolinėms reakcijoms, atsiranda daugybė branduolių skeveldrų ir transuraninių elementų, kurie sugeria neutronus, kartais net labai stipriai (pvz., pavojingiausias yra nuklidas ${}_{64}^{135}\text{Xe}$, kurio šiluminių neutronų pagavos skerspjūvis yra $\sigma > 10^6$ barnų.). Laikui bėgant naujai atsiradusių elementų tiek padaugėja, kad jie pradeda sugerti pastebimą neutronų dalį, grandininė reakcija gali sustoti. Todėl paleidžiant dirbti branduolinį reaktorių, reikia numatyti kaip kompensuoti tą būsimąjį neutronų nuostolį. Tai alieka reguliavimo strypai, kurie iš pradžių įstūmiami giliai į reaktoriaus aktyviają zoną ir sugeria tiek neutronų, kad bendras likusių neutronų skaičius būtų pakanakamas krizinei veikai ir daugėjimo koeficiento vertė būtų palaikoma $k = 1$. Kenksmingoms priemaišoms kaupiantis, reguliavimo strypai laipsniškai ištraukiami iš aktyviosios zonos tiek, kad bendras neutronų skaičius pasiliktų reikiamo lygio.

Branduolinis reaktorius

Kai reguliavimo strypai visai ištraukti iš aktyviosios zonos, neutronų skaičiaus mažėjimo dėl priemaišų jau nebegalima kompensuoti, tada reakcija sulėtėja ir sustoja. Kartu išdega radioaktyvusis kuras ^{235}U , tai mažina neutronų skaičių, taigi ateina metas, kai reikia šelus keisti. Kad nereikėtų stabdyti reaktoriaus, ši operacija paprastai atliekama laipsniškai – greičiausiai išdega ir užteršiami šelai centrinėje zonos dalyje, tad jie visų pirma pakeičiami, paskui kiti ir t.t. Taip laipsniškai keičiant šelus, reaktorius nestabdomas gali veikti keletą metų.

Branduolinis reaktorius

Veikiančio reaktoriaus būsenai apibrėžti, greta daugėjimo koeficiento k , dažnai naudojamas kitas dydis, vadinamas *reaktyvumu*:

Reaktyvumas

$$\rho = \frac{k - 1}{k}. \quad (2)$$

Aišku, kad esant $\rho = 0$ reakcijos greitis pastovus, esant $\rho < 0$ reakcija gęsta, esant $\rho > 0$ reakcijos greitis didėja. Normaliai reaktoriaus veikai jo reaktyvumas turi būti palaikomas pastovus labai dideliu tikslumu: $10^{-5} - 10^{-7}$ ribose.

Branduolinis reaktorius

Kartu su reguliavimo strypais aktyviojoje zonoje visada įtaisomi panašūs avariniai strypai, kurių paskirtis – neleisti reaktyvumui pavojingai padidėti, jei dėl kokių nors nenumatytų priežasčių neutronų skaičius pradėtų nekontroliuojamai didėti ir reakcija galėtų virsti avarija arba net sprogitu. Avariniai strypai laikomi čia pat, prie aktyviosios zonos, ir automatiškai į ją įleidžiami, jei tik reaktyvumas pasidaro pavojingas.

Neutronų nuostoliams iš aktyviosios zonos sumažinti patogiausia jos forma būtų rutulnė. Dėl praktinių ir techninių priežasčių tai neįvykdoma, todėl forma pagal galimybes daroma kuo artimesnė tai idealiai formai – būtent kūbo arba cilindro, su skersmeniu, lygiu jo aukščiui.

Branduolinis reaktorius

Pagrindinė branduolinio reaktoriaus charakteristika yra jo galia, kuri priklausomai nuo reaktoriaus paskirties įvairuoja labai dideliame intervale. 1 MW galia atitinka $3 \cdot 10^{16}$ dalijimųsi per sekundę. Pagal galią ir paskirtį reaktorius skirstomi į kelias grupes:

- energetiniai reaktoriai, paprastai didelės (iki 3–5 GW) šiluminės galios, skirti atominėms elektrinėms arba kitiems šiluminę energiją naudojantiems reikalams;
- eksperimentiniai reaktoriai, nedidelės galios (kelių kilovatų), skirti įžanginiams tyrimams, išbandant naujas konstrukcijas ir medžiagas;
- tyrimų reaktoriai, kurių tikslas panaudoti didelius neutronų ir γ spindulių srautus aktyviojoje zonoje branduolio fizikos tyrimams;
- izotopiniai reaktoriai, konstruojami naujiems izotopams gaminti branduolinėse reakcijose, pvz., ^{239}Pu .

Branduolinis reaktorius

Kitas rūšiavimo būdas atsižvelgia į branduolinį kurą, kuris gali būti gamtinis, t.y. nesodrintas uranas, sodrintasis uranas su mažesniu ar didesniu ^{235}U procentu ir reaktorius su grynu besidalijančiu izotopu ^{235}U .

Reaktoriai dar skirstomi pagal:

- branduolinio kuro cheminę sudėtį, pvz., metalinis uranas, urano oksidas UO_2 , urano karbidas UC ir t.t.;
- naudojamą aušalą, pvz., H_2O , D_2O , dujos, skystas metalas ir kt.;
- lėtiklį, pvz., C , H_2O , D_2O , Be , BeO , metalų hibridai arba visai be lėtiklio.

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - **Neutronų lėtikliai**
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Neutronų lėtikliai

Praktikoje naudojamiems lėtikliams keliami labai griežti reikalavimai: jie turi būti sudaryti iš lengvų atomų (kuo jie lengvesni, tuo greičiau vyksta lėtinimas), kuo mažiau sugerti neutronų ir turi būti gaunami grynu pavidalu, be taršalų. Šitokie praktikoje vartojami lėtikliai yra anglies grafito pavidalu, vanduo paprastasis (H_2O) ir sunkusis (D_2O) ir dėl brangumo rečiau vartojamas berilis.

Dažniausiai vartojamas kietasis lėtiklis yra grafitas. Gamtinis grafitas dėl nepakankamo cheminio grynumo ir mechaninio atsparumo nevartojamas. Reaktoriams jis gaminamas dirbtiniu būdu iš kokso, kuris malamas, sijojamas į smulkius grūdelius, paskui atitinkamai kaitinamas su derva ir ilgą laiką laikomas iki $300^{\circ}C$ temperatūroje. Kaitinimas halogenų atmosferoje leidžia pašalinti kenksmingas chemines priemaišas. Taip gaunamas grynas išsiskiriantis geromis mechaninėmis savybėmis grafitas lėtikliams. Kadangi jis atlaiko aukštą temperatūrą, iš jo galima konstruoti ir kai kurias reaktorių dalis.

Neutronų lėtikliai

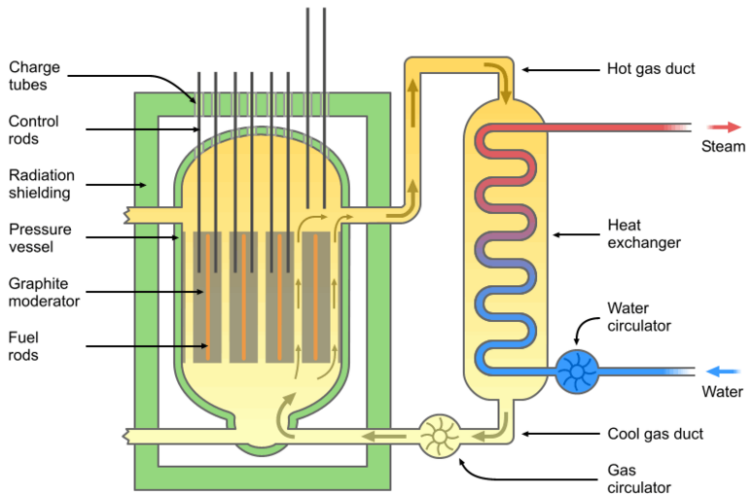
Skysti lėtikliai yra H_2O ir D_2O . Sunkusis vanduo yra geresnis lėtiklis, nes deuterio neutronų pagavos skerspjūvis yra daug mažesnis negu vandenilio. Reaktoriai, kuriuose naudojamas skystasis lėtiklis, kuris kartu gali būti ir aušalas, vadinami vandeniniais vandens reaktoriais. Kiti (pirma nurodamas aušalas, po to lėtiklis) vadinami vandens grafito ir dujų grafito reaktoriais.

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai

Labiausiai paplitę branduoliniai reaktoriai yra tokie, kuriuose besidalijantis kuras ir lėtiklis yra atskirti vienas nuo kito, pvz., urano strypai kasetėse įtaisomi juos apsupančiame lėtiklyje – grafite ir vandenyje. Kuro strypai sudaro tam tikrą erdvinę gardelę, įtaisytą į lėtiklio terpę. Tokie reaktoriai vadinami *įvairialyčiais* (heterogeniniais). Bet galimas ir kitoks kuro ir lėtiklio išdėstymas, kai abi tos medžiagos sudaro vienalytį mišinį, paprastai urano druskos tirpalą sunkiajame vandenyje, kaip lėtiklyje. Reaktoriaus įrengimas čia yra daug paprastesnis: tai yra plieno, vario ar aliuminio rutulys, kuriame yra branduolinis kuras – sodrintas uranas (iki 93 proc. ^{235}U), uranilo sulfato UO_2SO_4 druskos pavidalu ištirpintas sunkiajame vandenyje. Viską supa atšvaitas iš storo grafito arba berilio oksido sluoksnio. Pasiekus krizinę dydį arba atitinkamą ^{235}U koncentraciją rutulio viduje, prasideda grandininė reakcija, rutulio vidus tampa aktyviąja zona ir viduje pradeda kilti temperatūra. Šilumai iš aktyviosios zonos išleisti joje įtaisyta spiralės pavidalo vamzdžių sistema, per kurią pumpuojamas aušalas.

Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai



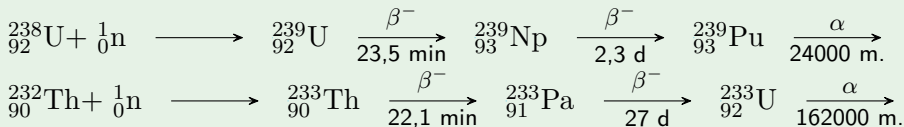
Heterogeninio reaktoriaus schema.

- 1 **Branduolinė (atominė) energetika**
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - **Greitųjų neutronų reaktoriai**
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Greitųjų neutronų reaktoriai

Aprašyti branduoliniai reaktoriai, grandininei reakcijai naudojančys lėtuosiuos arba šiluminius neutronus, sunaudoja tik labai nežymią gamtinio urano dalį, būtent tik jo lengvąjį izotopą ^{235}U , kurio yra 0,7 proc., likusioji dalis – ^{238}U pasilieka nesunaudota. Tačiau tai yra irgi labai vertingas branduolinis kuras, tik reikalaujantis kitokio naudojimo metodo. Panašias energetines savybes turi ir toris ^{232}Th , kurio atsargos Žemėje yra didesnės negu urano. Reakcijoms vykdyti čia reikia panaudoti greituosius neutronus. Reakcijos yra šios:

Branduolinės reakcijos



Greitųjų neutronų reaktoriai

Abu naujai atsirandantys ilgaamžiai nuklidai ^{239}Pu ir ^{233}U išsiskiria panašiomis dalijimosi savybėmis kaip ^{235}U , t.y. turi didelius pagavos skerspjūvius (100–1000 barnų) lėtiesiems neutronams, po to įvyksta dalijimosi reakcija. Kadangi iš vieno besidalijančio ^{235}U branduolio gaunama vidutiniškai 2,5 greitųjų neutronų, kurių vienas gamina ^{239}Pu , antram tenka tęsti grandininę reakciją, lieka dar statistiškai 0,5 neutrono, kuris panaudojamas ^{239}Pu skaidymo į skeveldras reakcijai. Šio ciklo ($^{238}\text{U} + n \rightarrow \dots \rightarrow ^{239}\text{Pu}$, $^{239}\text{Pu} + n \rightarrow \text{skeveldros} + n + \dots$) pabaigoje gaunama 1,5 karto daugiau besidalijančių branduolių, negu jų sunaudojama. Tokiu principu sukonstruotas reaktorius vadinamas *dauginimo reaktoriumi* (bryderiu), o kitaip apibrėžiant – greitųjų neutronų reaktoriumi.

Kadangi dauginimo reaktorius veikia panaudodamas greituosius neutronus, lėtiklis yra nereikalingas, todėl kaip aušalas netinka vanduo, nes jis lėtina neutronus. Aušalui naudojami skysti metalai.

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - **Atominės elektrinės**
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Atominės elektrinės

Pagrindinis energetinių branduolinių reaktorių konstravimo tikslas yra atominės elektrinės. Pasaulinėje energetikoje didžiausia energijos dalis gaunama iš organinio kuro – anglies, naftos ir gamtinių dujų. Jų atsargos Žemėje, nors ir didelės, bet yra ribotos, ypač naftos, kurios kai kurie šaltiniai jau yra išsisėmę. Tuo tarpu energijos poreikis pasaulyje vis labiau didėja, pasaulinė statistika rodo, kad per kiekvieną dešimtmetį jis padidėja dvigubai. Todėl žiūrint į ateitį naujų energijos šaltinių ieškojimas ir tobulinimas yra būtinas.

Šiuo metu daugelyje atominių elektrinių veikia šiluminių neutronų branduoliniai reaktoriai su grafito lėtikliais. Jų statyba prasidėjo nuo pirmosios pasaulyje Obninsko elektrinės, pradėjusios veikti 1954 m. birželio 27 d.

Ignalinos atominė elektrinė

1983 pradėjo veikti Ignalinos atominė elektrinė. Jos projektinė galia 6000 MW (4 reaktoriai po 1500 MW). Reaktorius buvo sumontuotas 12 m gylyje betoninėje šachtoje, jo aktyvioji zona sudaryta iš vertikalios ritinio formos grafitinio klojinio, kuriame buvo 1661 technologinis kanalas. Tai cirkonio lydinio vamzdžiai, į kuriuos įleidžiami kuro elementai – 13,5 mm skersmens cirkonio vamzdeliai, pripildyti iš urano oksido miltelių pagamintų kuro tablečių. Vykstant grandinei reakcijai, temperatūra kuro elemento centre pakildavo iki 1900°C . Per technologinius kanalus tekantis vanduo įkaisdavo ir sudarydavo 285°C vandens ir garo mišinį, nukreipiamą į garo separatorių. Iš ten 6 MPa slėgio garas buvo leidžiamas į dvi 750 MW galios turbinas, kurios suko elektros generatorius. Generatorių įtampa 24 kV. Iš turbinų išėjęs garas buvo kondensuojamas kondensoriuose, kuriuos aušino Drūkšių ežero vanduo.

- 1 Branduolinė (atominė) energetika
 - Branduolinis reaktorius. Įvadas
 - Dalijimosi reaktorius
 - Dalijimosi reaktorių tipai
 - Branduolinis reaktorius
 - Neutronų lėtikliai
 - Įvairialyčiai ir vienalyčiai reaktoriai
 - Greitųjų neutronų reaktoriai
 - Atominės elektrinės
 - Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje



Černobylio reaktoriaus vieta žemėlapyje.

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

1986 m. balandžio 28 d., pirmadienį, Fizikos instituto Vilniuje mokslininkai, atėję į darbą, pamatė, jog automatiniai oro radioaktyvumo matavimo prietaisai užregistravo staigų radioaktyvumo padidėjimą, apie dešimt kartų viršijantį įprastinį foninį lygį. Nustačius, kokių radioaktyviųjų medžiagų atsirado ore, specialistams tapo aišku, kad kažkur įvyko atominės elektrinės avarija. Pirmosios apie sproгимą Černobylio atominėje elektrinėje pranešė užsienio radijo stotys, ir tik paaiškėjus, kad avarijos nuslėpti nepavyks, apie tai buvo oficialiai pranešta ir Sovietų Sąjungoje.

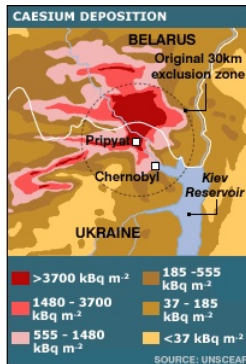
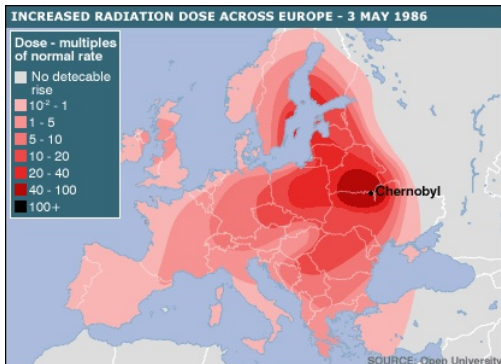
Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Černobylio atominė elektrinė buvo pastatyta Ukrainoje, maždaug apie 100 km į šiaurę nuo Kijevo ant Pripetės upės kranto, joje veikė keturi 1000 MW galios branduoliniai reaktoriai. Avarija įvyko ketvirtajame reaktoriuje.

Balandžio 26 d. naktį, sumažinus reaktoriaus galią ir tinkamai neapsirengus, buvo vykdomas jo išbandymas, atjungus apsaugos sistemą. Dėl operatorių klaidų ir nepatikimos reaktoriaus konstrukcijos jo galia staiga ėmė augti, ir reaktorius pasidarė nevaldomas. Pakilus temperatūrai, reaktoriaus viduje susidarė pavojingas dujų mišinys, kuris sprogo ir sugadino reaktoriaus apvaskalą; dėl sprogimo kilo gaisras. Į atmosferą buvo išmesta kelios tonos radioaktyviųjų medžiagų. Radioaktyvus debesis pakilo į 1,5 km aukštį. Tuo metu vėjas pūtė ne į Kijevo pusę, ir tai išgelbėjo milžiniška, keletą milijonų gyventojų turintį miestą nuo didelio užterštumo. Debesies pėdsakas nusidrekė šiaurės vakarų kryptimi per Baltarusiją, pietvakarinę Lietuvos dalį į Skandinaviją.

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Radioaktyviosios medžiagos dar smarkiai veržėsi iš reaktoriaus daugiau kaip savaitę, tad keičiantis vėjui daugiau ar mažiau buvo užkrėsta didelė dalis Ukrainos, pateko tų medžiagų ir į Pietų Europą, Užkaukazę, Sibirą.



Padidėjusio radioaktyvumo žemėlapis 1986 m. gegužės 3 d.

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Vėliau reaktorius buvo padengtas storu betono sluoksniu – vadinamuoju sarkofagu. Iš 30 km zonos aplink elektrinę buvo evakuoti gyventojai. Černobylio avarija tapo nacionaline Ukrainos ir Baltarusijos nelaime, sukėlusia tukstančių gyventojų mirtį ir ligas.

Lietuvoje radioaktyvusis debesis sukėlė gerokai mažesnę užteršimą (Vilnius yra 480 km nuo Černobylio), dabar daugelyje vietų praktiškai nebepastebimą.

Pirmosios dienos po avarijos didžiausią pavojų kėlė į orą patekusios radioaktyviųjų medžiagų dulkelės. Įkvėpamos su oru ir prilipdamos prie kvėpavimo takų, dulkelės apšvitindavo aplinkines ląsteles ir galėjo sukelti jų išsigimimą.

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Radioaktyviame debesyje, praslinkusiame virš Lietuvos, daugiausia buvo nestabilaus jodo izotopo ^{131}I , kurio pusamžis tik 8 paros. Nusėdęs ant ganyklų žolės, jis pateko į pieną, tad kai kuriuose rajonuose pieno radioaktyvioji tarša trumpą laikotarpį net keliolika kartų viršijo leistinas normas.

Cezio radioaktyviojo izotopo ^{137}Cs Lietuvoje iškrito žymiai mažiau negu ^{131}I , bet cezio pusamžis yra 30 metų. Jo tyrimai parodė, kad radioaktyviosios iškritos pasiskirstė labai nevienodai – tam tikromis "dėmėmis" žemėlapyje. Tiesa, ir tose dėmėse ^{137}Cs nedaug tepadidino natūralų žemės radioaktyvumą. Tik kai kur susidarė nedidelės (dažniausiai keleto metrų skersmens) smarkiai užterštos dėmės, ypač ežerų pakrantėse (matyt, bangoms išmetant į krantą vandens paviršiuje plūduriavusias radioaktyvias medžiagas).

Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje

Anot specialistų, Ignalinos atominė elektrinė galėjo sprogti anksčiau negu Černobylis, nes mūsų elektrinė, ypač jos pirmasis reaktorius, buvo dar mažiau patikimas. Atsitiktinumas lėmė kitaip, o po Černobylio avarijos Ignalinos elektrinės apsaugos sistemos buvo gerokai patobulintos.

Šiuo metu Ignalinos abu blokai sustabdyti. Pirmasis nebeveikia nuo 2004 m. gruodžio 31 d., o antrasis sustabdytas 2009 m. gruodžio 31 d.

Dar vykdomi eksploatavimo nutraukimo darbai (išmontavimas, branduolinio kuro atliekos).