

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

YADROVIY ENERGETIK REAKTORLAR

fanidan kurs loyihasiga

USLUBIY KO'RSATMALAR

Toshkent- 2022

UDK 621.039.5

KBK 31.46

Pardayev N.S, Djumanov Sh.S. Kurs loyihasiga uslubiy ko'rsatmalar – T.: ToshDTU, 2022. 36 b.

Uslubiy ko'rsatmalarda termal neytron reaktorining parametrlarini hisoblash xususiyatlari ko'rsatilgan. Ikki guruhli yaqinlashish ko'rib chiqiladi, uning sxemasi taniqli asarlarda isbotlangan.

Ushbu “Yadroviy energetik reaktorlar” fanidan kurs loyihasini bajarish uslubiy ko'rsatmalar atom elektr stansiyalari kafedrasida 60710500 – Energetika (atom elektr stansiyalari) yo'nalishlarida ta'lim olayotgan talabalar uchun m'ljallangan.

Kurs ishini bajarish uchun zarur ma'lumotlar. Asosiy bo'limlarning mazmuni, hisob-kitoblarga misollar va ularni amalga oshirish bo'yicha ko'rsatmalar berilgan.

*Toshkent davlat texnika universitetining Ilmiy -uslubiy Kengashi qarori asosida
nashrga tavsiya etildi (10-sonli majlis bayonnomasi, 2022 yil 29.06)*

Taqrizchilar:

Polvonov S.R - O'zMU Fizika fakulteti “Yadro fizikasi” kafedrasida mudiri, prof.f.-m.f.d.;

Yunusov B.X – ToshDTU “Issiqlik energetikasi” kafedrasida mudiri, dots.t.f.n.

KIRISH

Kurs loyihasining maqsadi nazariy kurs ma'lumotlarini birlashtirish va tizimlashtirish, hisoblash vazifalari va natijalari, uning alohida qismlarining o'zaro bog'liqligi va haqiqiy reaktorlarni hisoblashda duch keladigan qiyinchiliklar haqida aniq kesim hosil qilishdir.

Reaktor faol zonasining konstruksiyasi fizik, texnologik, konstruktiv parametrlar majmuasi bilan belgilanadi. Ularning kombinatsiyasi atom faol zonalarining bo'linishining zanjirli reaksiyasini ta'minlashi kerak. Talablarning har biri turli yo'llar bilan bajarilishi mumkin, shuning uchun juda ko'p turli xil reaktorlar ishlab chiqilgan.

Strukturaviy jihatdan reaktorlar ikki yo'nalishda rivojlanmoqda:

1. Bosimli reaktorlar (VVER), bunda bosimi kuchli reaktor idishi bilan qoplanadi.
2. Kanalning devorlari ortiqcha bosimni boshdan kechiradigan kanal reaktorlari.

Reaktorni hisoblashning o'ziga xosligi bor. Muhit ichidagi neytron nurlanish maydoni Boltsmanning taqsimot tenglamasi bilan tavsiflanganligini aytish kifoya. Uning yechimi oltita o'zgaruvchiga: uchta koordinata, ikkita burchak va energiyaga bog'liq bo'lgan taqsimot funksiyasi (ehtimollik). Bir qator holatlar energiyani alohida ajratishga majbur qiladi. Avvalo, bu uning o'zgarish chegaralari. Neytron energiyasining o'zgarishining to'liq diapazoni sakkizta kattalik tartibini qamrab oladi(!): o'nlab megaelektronvoltlardan elektron voltning fraksiyalarigacha, lekin uni ajratib turadigan eng muhim narsa - bu kesmalarning o'ta murakkab energiyaga bog'liqligi. Bo'limlarning xatti-harakatlaridagi ko'plab rezonanslar va tartibsizliklar analitik tarzda tavsiflanmagan va mashinalar xotirasiga bo'limlarning borishi to'g'risidagi batafsil ma'lumotlarni kiritish kompyuter texnikasining hozirgi rivojlanish darajasida amalda mumkin emas. Natijada, butun energiya oralig'i guruhlarga bo'linadi. Har bir guruh ichida kesmalar o'rtacha hisoblanadi. Muammo bir tezlikli tenglamalar tizimiga keltiriladi, ularni hal qilish uchun turli usullar ishlab chiqilgan. Ulardan biri Boltzman tenglamasini diffuziya tenglamasiga kamaytirish uchun uzluksiz sekinlashuv modelidan foydalanish imkonini beruvchi yosh-diffuziya usulidir. Zamonaviy hisoblash dasturlarida energiya oralig'i bo'lingan guruhlar soni 100 dan oshadi.

Ushbu ko'rsatmalarda diffuziya yoshi nazariyasining ikki guruhli yaqinlashuvi an'anaviy ravishda eng sodda va shu bilan birga hisob-kitoblarning maqbul aniqligini ta'minlaydi.

Loyihani amalga oshirish jarayonida qo'yiladigan vazifani quyidagicha shakllantirish mumkin: reaktorning issiqlik quvvati va konstruksiyalarni bilish,

reaktivlik chegarasini va o'ziga xos yoqilg'i sarfini hisoblash. Loyihani bajarish uchun sizga ushbularni bilish kerak bo'ladi:

- geterogen reaktor nazariyasini bilish;
- faol zona reaksiyalarining neytron spektri bo'yicha kesmalarini o'rtacha hisoblay olish;
- bir jinsli aralashmalarning makroskopik kesimlarini hisoblashni o'rganish.

Hisoblash usuli ikki bobda tasvirlangan. Birinchi bob uran-grafit reaktorining kanaliga bag'ishlangan. Ishni bajarishda 1-bobda ko'rsatilgan harakatlar ketma-ketligiga rioya qilish kerak. Birinchidan, biz faol zonaning o'lchamlarini va yacheykaning geometrik xususiyatlarini hisoblaymiz. Keyin, ilovadan neytronlarning yacheyka elementlari bilan o'zaro ta'siri uchun kesmalarni olamiz va makroskopik kesmalarni topamiz. Olingan kesmalar Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblanadi. Keyingi bosqich – to'rt omil formulasining koeffitsiyentlarini va cheksiz muhitda ko'paytirish omilini hisoblash. Keyinchalik, biz faol zonaning geometrik parametrini va reaktivlik chegarasini aniqlaymiz. Va oxirgi nuqta - izotopik tarkibning ish vaqti va reaktor kompaniyasining davomiyligiga bog'liqligini hisoblash.

Ikkinchi bob VVER tipidagi reaktor bilan bog'liq. Shu bilan birga, asosiy e'tibor bunday reaktorlar va geterojen grafitli reaktorlarni hisoblash o'rtasidagi farqqa qaratiladi, ikki turdagi reaktorlar uchun umumiy formulalar faqat 1-bobda tasvirlangan. Shuning uchun bosimli suv bilan vazifani bajarish uchun reaktor, ikkala bobni ham o'qish kerak. Kerakli jadval va grafiklar ilovada keltirilgan.

Tushuntirish xatida muammo, uning dastlabki ma'lumotlari, hajm ulushlarini hisoblash natijalari, faol zona konsentratsiyasi, mikro va makroskopik kesmalar, yutilish aktiga to'g'ri keladigan ikkilamchi neytronlar soni, tez neytronlarga ko'payish koeffitsiyenti, ehtimolliklar haqida ma'lumotlar bo'lishi kerak. rezonansning ushlanishi va yoqilg'ida so'rilishining oldini olish, cheksiz va cheklangan muhitda ko'payadigan koeffitsientlar qiymatlari, geometrik parametrlar, reaktor o'lchamlari va k_{eff} ning ish vaqtiga bog'liqligini tahlil qilish. Natijalar jadvallar va tushuntirishlar bilan $k_{eff(z)}$ grafigi ko'rinishida keltirilgan.

KURS LOYIHASINING MAQSADI VA VAZIFALARI

Kurs loyihasining maqsadi – bakalavr talabalari o‘qish davri mobaynida olgan nazariy bilimlarini va amaliy darslardagi egallagan ko‘nikmalarini hamda amaliyotda o‘rgangan malakalarini mustahkamlashdan iborat bo‘lib talabani o‘z ixtisosligi bo‘yicha mehnat faoliyati uchun tayyorgarlik darajasini kuchaytirishga qaratilgan mustaqil bajariladigan ilmiy izlanish ishi hisoblanadi.

Kurs loyihasi bakalavr talabalarining mazkur mutaxassisligiga davlat ta’lim standartida qo‘yilgan talablarga, mamlakatimiz hukumatining olib borayotgan istiqbollarga mos kelishi maqsadga muvofiqdir.

Kurs loyihasini bajarishda quyidagi vazifalarni bajarish ko‘zda tutiladi:

- talabalarining mutaxassisligi bo‘yicha olgan nazariy va amaliy bilimlarni umumlashtirish, tizimga keltirish, mustahkamlash va kengaytirish, olingan bilimlarni aniq ilmiy, texnikaviy, ishlab chiqarish, iqtisodiy, ijtimoiy vazifalarini hal etishda qo‘llash;

- talabalarda mustaqil ishlash ko‘nikmalarini rivojlantirish, yechim talab etadigan muammo va masalalarni tadqiq etish usullarini egallashga va tadqiqot o‘tkazishga imkon yaratish;

- ijodiy ishlash, ishlab chiqilayotgan masalaning (muammoning) qo‘yilish jarayonidan boshlab, uni to‘la nihoyasiga yetkazish bo‘yicha qaror qabul qilishda bo‘lgan ma’suliyatni his etishga o‘rgatish;

- zamonaviy ishlab chiqarish, iqtisodiyot va texnik madaniyatning rivojlanishi sharoitida bakalavrlarni mustaqil ishlashga tayyorgarligini aniqlash.

Kurs loyihasini bajarish jarayonida sanoatdagi suv tozalash qurilmalarining ishlash prinsipi va ularda yuz berayotgan jarayonlaridagi muayyan shart-sharoitlarni ko‘rib o‘tish va hisob-grafik ishlarini bajara olishi. Shuningdek qurilmalarga tavsif bera olish muhimdir.

Kurs loyihasining tuzilishi va bajarish tartibi

Kurs loyihasini bajarish rejasi rahbar tomonidan beriladi.

Kurs ishining tuzilmaviy elementlari quyidagilar hisoblanadi: titul varag‘i, reja, mundarija, kirish, asosiy qism (2 bob), xulosa (takliflar), foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati, ilovalar.

Mundarija

Kirish

Asosiy qism

Xulosa

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

Ilova

Kurs loyihasining hajmi: 20-30 betni tashkil qiladi (ilovalarsiz).

Grafik qismining hajmi: A3 formatda 1 list

Hisob tushuntirish qismi: 18 bet atrofida

Himoya va baholash: 3 kishidan iborat professor-o‘qituvchi xodimlardan tashkil qilinadi.

Kurs loyihasining “Xulosa” qismini yozish bo‘yicha ko‘rsatma:

Xulosa va takliflar kurs loyihasining mazmunining bayon etilishini yakunlaydi. Unda talabanning olib borgan ilmiy izlanishlarining natijalari umumlashtiriladi. Xulosa va takliflar aniq, qisqa va tushunarli tarzda bayon etilishi, faqatgina mavzuga oid masalalarni o‘zida aks ettirishi lozim.

Xulosa va takliflar kurs ishining kirish qismida yoritilgan maqsad va vazifalarga to‘liq mos kelishi, hamda ish oldiga qo‘yilgan vazifalar qanday yechilganini ko‘rsatishi lozim. Takliflar aniq natijalarga, tajribalarga asoslangan holda ko‘rsatib berilishi, tahliliy hisob-kitoblar va ma’lumotlar bilan mustahkamlanishi maqsadga muvofiq.

Kurs loyihasining “Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati” qismini yozish bo‘yicha ko‘rsatma:

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatida bakalavr kurs ishini yozishda foydalangan huquqiy-me‘yoriy asoslar (O‘zbekiston Respublikasining qonunlari, Prezident qarorlari, Vazirlar Mahkamasining qarorlari), darsliklar, o‘quv qo‘llanmalar, monografiyalar, gazeta va jurnallar aks ettirilishi kerak.

Kurs loyihasining “Ilovalar” qismini yozish bo‘yicha ko‘rsatma:

Ilovalar qismida kurs loyihasining obykti bo'yicha olingan umumiy amaliy va axborot ma'lumotlari beriladi.

Ilovalar kurs loyihasining asosiy matni bilan birga jamlangan bo'lishi yoki alohida kitob holda chiqarilgan bo'lishi mumkin. Ilovalarga kurs loyihasini to'ldiruvchi va tasvirlovchi turli yordamchi materiallar kiritiladi.

- a) statistik ma'lumotlar va ularni qayta ishlash metodlari;
- b) aniq tajribalar natijalari;
- d) dastlabki materiallar;
- e) yordamchi nomogrammalar va jadvallar;
- f) yordamchi xarakterdagi illyustratsiyalar (tasvirlar);
- j) mukammal izohlar.

Ilovalar ketma-ketligi tartibi kurs ishida ularga murojaat qilish tartibiga mos kelishi va foydalanish qulayligini ta'minlashi kerak.

Kurs loyihasini rasmiylashtirish tartibi

Umumiy qabul qilingan belgilardan tashqari boshqa so'zlarni qisqartirib yozilishiga stilistik xatolarga yo'l qo'yilmasligi va kurs loyihasi mavzusining yozilishi ilmiy tilda bo'lishiga ham ahamiyat berishi kerak.

Kurs loyihasini to'g'ri rasmiylashtirish uning asosiy talablaridan biri hisoblanadi. Kurs loyihasinining matni aniq, erkin o'qiladigan xusnixatda standart yozuv qog'ozining bir tomonida yoziladi, Kurs loyihasining kompyuter va printer yordamida A4 (210x297 mm) formatli standart oq qog'ozning bir tomonida chop etiladi. Kurs loyihasi matnini yozishda «Times New Roman» 14 o'lchamli shriftini qo'llagan holda "Microsoft Word" matn redaktoridan foydalaniladi. Abzas (xat boshi) – 1,25 sm, varaq chegaralari chap qismidan 3 sm, yuqori va pastki qismlaridan 2 sm, o'ng tomondan 1,5 sm joy qoldiriladi, qator oralig'i 1,5 oraliqda yozilishi lozim. Kurs loyihasining asosiy qismining hajmi 35 betdan oshmasligi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlardan olingan ma'lumotlarga havolalar keltirish har bir sahifaning oxirida ko'rsatilishi tavsiya etiladi. Matnda keltirilgan ba'zi bir fikr yoki ma'lumotlarni kompyuter imkoniyatlaridan foydalangan holda ajratib ko'rsatish mumkin (*kursiv*, **qoraytirish** yoki tagiga chizish).

Betlarni sahifalash arab raqamlari bilan amalga oshiriladi. Kurs loyihasining barcha betlari muqovadan oxirgi betgacha tartib bilan raqamlanadi. Kurs loyihasining birinchi beti titul varaq hisoblanib, unga sahifa raqami qo'yilmaydi, lekin kurs ishining umumiy hajmiga kiritiladi. Shuningdek, kurs ishi topshirig'i hamda mundarija sahifalanmaydi. Sahifa raqami betning pastki o'ng tomoniga qo'yiladi.

Kurs ishi pereplyot qilingan va maxsus papkaga solingan bo'lishi kerak. Kurs loyihasini bajarishda oldindan tasdiqlangan kurs loyihasi topshirig'i va kurs loyihasini bajarish grafigi bo'lishi kerak.

Kurs loyihasi tarkibining ketma-ketligi

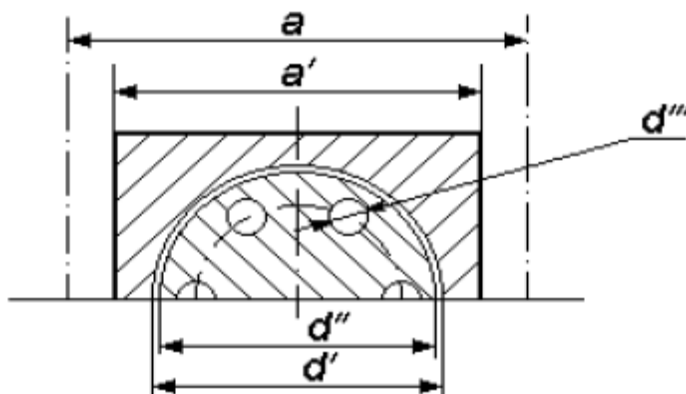
Kurs loyihasining tarkibini quyidagi ketma-ketlik asosida qo'yilib, pereplyot qilinadi:

- titul varag'i
- kurs loyihasini bajarish topshirig'i
- kurs loyihasiga taqriz;
- mundarija
- kirish;
- asosiy qism;
- xulosa;
- foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati;
- ilovalar.

1. KANALLI URAN-GRAFITLI REAKTORNI HISOBLASH.

1.1. BOSHLANG'ICH MA'LUMOTLAR.

Kanal uran-grafit reaktori sezilarli darajada heterojen yacheyka tuzilishiga ega bo'lgan namunali reaktordir (1.1-rasm).

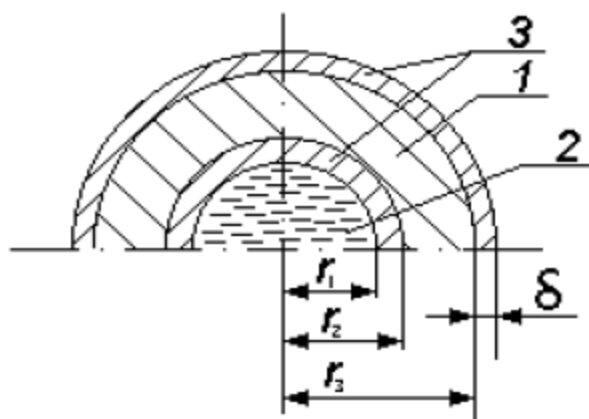


1.1-rasm. Kanal reaktor yechaykasi

Yacheyka va yonilg'i novdalarining o'lchamlari dastlabki ma'lumotlar sifatida berilgan:

a – yechayka pog‘onasi, a' - grafit g‘isht o‘lchami, d' – g‘isht teshigi diametri, d'' - grafit vtulkaning diametri, d''' – yoqilg‘i novda teshik diametri, n - yacheykadagi yonilg‘ining elementlarining soni. Yoqilg‘i elementining konstruksiyasi 1.2-rasmda ko‘rsatilgan.

Yacheyka va yonilg‘i elementining o‘lchamlariga qo‘shimcha ravishda, dastlabki ma‘lumotlarda qoplama materiali, yoqilg‘ini boyitish (metall uran, $\rho = 18,9 \text{ g / sm}^3$) uran 235 bilan, sovutish suvining parametrlari (kirish va chiqish harorati, T_{kir} , T_{chiq} , bosimi ko‘rsatilgan, p), qalinligi reflektor Δ (grafitdan $\rho=1,6 \text{ g/sm}^3$) va reaktorning issiqlik quvvati P .



1.2-rasm. Ichki sovutish bilan yonilg‘i elementi: 1 – yoqilg‘i; 2 - sovutish suvi; 3 - qobiq

1.2 TERMİK HISOBLASH

Issiqlik hisoblash vazifasi faol zona hajmini va reaktor yacheykalari sonini aniqlashni o‘z ichiga oladi. Bundan tashqari, keyingi jismoniy hisoblash uchun moderator T_Z va uran T_U ning o‘rtacha haroratini baholash kerak.

Faol zonada issiqlikni ishonchli olib tashlash uchun maksimal issiqlik oqimi zichligi q_{max} uning yuzasida bug‘ plyonkasi hosil bo‘lishi natijasida yonilg‘i elementining haddan tashqari qizishi va erishi mumkin bo‘lgan kritik qiymatdan oshmasligi kerak. Zahirani hisobga olib, $q_{max}=175 \text{ Vt/sm}^2$ ni belgilaymiz.

O‘rtacha issiqlik oqimi \bar{q} maksimal nisbat bilan bog‘liq

$$q_{max} = \bar{q} \cdot k_v \quad (1.1)$$

bu yerda, k_v - notekis energiya chiqishining hajmli koeffitsiyenti. Dastlabki yaqinlik sifatida $k_v \approx 2$ ni belgilaymiz. Kelajakda bu koeffitsiyent reflektorni hisoblashda ko‘rsatiladi. Faol zonaning birlik hajmiga o‘rtacha energiya yukini hisoblaylik:

$$P_0 = \frac{\Pi_0 \cdot n \cdot \bar{q}}{V_0} \quad (1.2)$$

bu yerda, $\Pi_0 = 2\pi r_l$ - bitta yonilg'ı elementining issiqlik uzatish yuzasining perimetri;

$V_0 = a^2$ - birlik balandligidagi katakning hajmi:

Berilgan issiqlik quvvatini ta'minlaydigan faol zonaning hajmi,

$$V_{az} = \frac{P}{P_0} \cdot \varepsilon \quad (1.3)$$

Boshqarish elementlarini (RBHT) joylashtirish hisobiga reaktor hajmining oshishini hisobga oluvchi ε koeffitsiyenti 1,1÷1,3 doirasida tanlanadi. D_{AZ} silindrsimon reaktorning faol zonasining diametri uning balandligi bilan bog'liq H_{AZ} , tekislash omili $m = D_{AZ} / H_{AZ}$, fizika nuqtai nazaridan yoki konstruktiv tabiatdan tanlangan. Faol zonaning tekislanishi, qoida tariqasida, 0,7 dan 2 gacha tanlanadi. Biz $m = 1$ deb faraz qilamiz.

Keyin reaktorning diametri

$$D_{az} = H_{az} = \sqrt[3]{4 \cdot V_{az} / \pi} \quad (1.4)$$

Faol zonadagi yacheykalar soni:

$$N_{ya} = V_{az} / (V_0 \cdot H_{az}) \quad (1.5)$$

qaysi ishchilar $N_{ish} = N_{yech} / \varepsilon$.

Sovutish suyuqligining (suv), televizorning o'rtacha harorati T_{kir} va T_{chiq} ning arifmetik o'rtacha qiymati sifatida aniqlanadi.

Moderatorning harorati, T_Z va yoqilg'ining harorati, T_U reaktor issiqlik chiqarish va issiqlik uzatish jarayonlarini hisoblash yo'li bilan aniqlanadi. Ushbu hisob-kitoblar kurs loyihasining vazifasiga kiritilmaganligi sababli, keling, haroratning taxminiy qiymatlarini o'rnatamiz. Issiqlik yonilg'ı novdalarining ichki yuzasidan chiqariladi, shuning uchun maksimal harorat yonilg'ı sterjenlari orasidagi moderatorda bo'ladi. Shartli ravishda faraz qilaylik, uranning o'rtacha harorati sovutish suyuqligining chiqish haroratidan 150 K yuqori va

$$T_Z = T_{chiq} + 150 \text{ K.}$$

1.3. O'RTACHA MAKROSKOPIK BO'LIMLARINI ANIQLASH.

1.3.1. Y acheyka hajmi bo'yicha o'rtacha bo'limlar.

Bu bo'limda yutulish reaksiyalari uchun makroskopik kesmalarni Σ_a , muhitning mo'tadil quvvatini $\xi \cdot \Sigma_s$, transport sochilish kesimini Σ_{tr} va bo'linish kesimini Σ_f topamiz.

Muhit bilan termal muvozanat sharti bilan yacheykada neytron gazining harorati T_N bo'lgan Maksvell spektri deb ataladigan neytron spektri o'rnatiladi. Maksvell spektri bo'yicha termal neytronlarning kesmalarini o'rtacha hisoblash uchun ushbu haroratni aniqlash kerak.

Birinchi yaqinlashishda biz yacheykani bir xil deb hisoblaymiz. Biz jadvalni to'ldiramiz. 1.1 barcha yacheyka elementlari uchun.

1.1-jadval

Gomogenlashtirilgan yacheykaning makroskopik bo'limlari

Element (modda)	V, sm ³	$N_0 \cdot 10^{-24}$, yadro/sm ³	$N \cdot 10^{-24}$, yadro/sm ³	$\sigma a \cdot 10^{24}$, sm ²	$\xi \sigma_s \cdot 10^{24}$, sm ²	Σa , sm ⁻¹	$\xi \Sigma_s$, sm ⁻¹
Yacheykaning umumiy makroskopik bo'limlari							

Birinchiidan, biz barcha elementlarning hajmlarini topamiz, yacheykaning balandlik birligi (1 sm) - V_i .

$$\text{Uran: } V_U = n \cdot \pi \cdot (r_3^2 - r_2^2).$$

$$\text{Grafrit vtulka: } V_{C1} = 0,25 \cdot \pi \cdot (d''^2 - n \cdot d'''^2).$$

$$\text{Grafrit g'isht: } V_{C2} = a'^2 - 0,25 \cdot \pi \cdot d'^2.$$

$$\text{Yacheykadagi grafitning umumiy hajmi: } V_C = V_{C1} + V_{C2}.$$

$$\text{Suv: } V_{H_2O} = n \cdot \pi \cdot r_1^2$$

Qoplash hajmi:

$$V_{\Pi} = n \cdot \pi \cdot [\delta \cdot (2 \cdot r_3 + \delta) + r_2^2 - r_1^2]. \quad (1.6)$$

Alohida elementlarning faol zona konsentratsiyasi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$N_{0i} = 0,6023 \cdot 10^{24} \rho_i / A_i, \quad (1.7)$$

bu yerda, $0,602 \cdot 10^{24}$ - Avogadro soni; A_i - elementning atom massasi (atom massa birliklarida); ρ_i - zichlik (g/sm³).

Molekulalarni tashkil etuvchi elementlar uchun 1 sm³ dagi molekular soni birinchi navbatda (1.7) formula bo'yicha aniqlanadi, bu yerda atom massasi o'rniga molyar massa almashtirilishi kerak. Keyin hajm birligidagi molekular sonini molekuladagi berilgan element atomlari soniga ko'paytirish orqali elementning faol zona konsentratsiyasini olamiz. Uran-235 faol zonalarning konsentratsiyasini formula bo'yicha hisoblaymiz:

$$N_{05} = N_{0U} \cdot x, \quad (1.8)$$

bu yerda, x – yoqilg‘ini uran-235 bilan boyitish.

Shunga ko‘ra, uran-238 ning faol zona konsentratsiyasi

$$N_{08} = N_0 \cdot U (1-x). \quad (1.9)$$

Endi biz bir jinsli yacheykadagi nuklidlarning o‘rtacha konsentratsiyasini topamiz:

$$N_i = N_{0i} \cdot V_i / V_0. \quad (1.10)$$

Moderatorning zichligi harorat va bosimga bog‘liq. Yacheyka bo‘yicha o‘rtacha hisoblangan suvning zichligini aniqlaymiz. Kanallardagi o‘rtacha suvning harorati:

$$\bar{T}_s = (T_{kir} + T_{chiq}) / 2. \quad (1.11)$$

Bu harorat zichlikka $\bar{\rho}_{H_2O}(\bar{T}_s, p)$ mos keladi (ilovaning 1-jadval).

293 K haroratda termal neytronlarning σ_a yutilish kesimlari va moddalarning $\xi \cdot \sigma_s$ moderatsiya qobiliyatini, ilova, 2-jadvalda topish mumkin. Biz formulalar yordamida makroskopik kesimlar va sekinlashtiruvchi qobiliyatlarni qidiramiz:

$$\Sigma_a^i = \sigma_a^i \cdot N_i, \quad (\xi \Sigma_s)_i = (\xi \sigma_s)_i \cdot N_i. \quad (1.12)$$

1.3.2. Neytron gazining haroratini aniqlash va Maksvell spektri bo‘yicha yutilish kesimlarini o‘rtacha hisoblash.

2-ilovada issiqlik neytronlarining yutilish kesimlari $E_n=0,0253$ eV energiya uchun berilgan, bu 293 K haroratdagi issiqlik harakatining o‘rtacha energiyasiga to‘g‘ri keladi va sochilish kesmalari σ_s energiyadan mustaqil deb hisoblanadi va ularning qiymatlari $E_n=1$ eV ga tengdir. Keyingi vazifa Maksvell spektri bo‘yicha kesmalarni o‘rtacha hisoblashdir. Buning uchun neytron gazining haroratini topamiz:

$$T_H = T_3 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \Sigma_a(T_3) (\xi \Sigma_s) \right], \quad (1.13)$$

bu yerda, $\Sigma_a(T_z) = \Sigma_i \Sigma_a^i(T_z); \quad \xi \Sigma_s = \Sigma_i (\xi \Sigma_s)_i.$

Moderator haroratida makroskopik yutilish kesimlarini bog‘liqlik bilan baholaylik.

Moderator haroratida $\Sigma_a^i(T_z)$ ning makroskopik yutilish kesimlari $\sigma_a(E) \sim 1/\sqrt{E}$ ga bog‘liqlik farazi ostida baholanadi:

$$\Sigma_a^i(T_z) = \Sigma_a^i(293K) \cdot \sqrt{293/T_z} \quad (1.14)$$

1.13 formula bo‘yicha neytron gazining harorati taxminiydir, shuning uchun uning qiymatini yuzning eng yaqin karraligigacha yaxlitlash mumkin. Maksvell spektrining maksimaliga mos keladigan termal neytronlarning eng ehtimoliy energiyasi:

$$E_H = k \cdot T_H, \quad (1.15)$$

bu yerda $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ eV/K Boltsman doimiysi (3/2 ga ko'paytiriladi).

Sovuq neytronlar spektri E_{gr} energiyasida issiqlik spektriga aylanadi, bu termal guruhning chegara energiyasi yoki Fermi va Maksvell spektrlarining o'zaro bog'lanish energiyasi deb ataladi.

Keling, barcha neytronlarni ikkita energiya guruhiga ajratamiz: $E < E_{gr}$ (termik neytronlar) va $E > E_{gr}$ bilan - sekinlashtiruvchi neytronlar. Ikkinchi guruh neytronlari uchun biz barcha kesimlar energiyadan mustaqil va 1 eV energiyadagi qiymatlarga teng deb hisoblaymiz. Termal neytron kesimlari Maksvell spektri bo'yicha 0 dan E_{gr} gacha o'rtacha hisoblanishi kerak. Spektr bo'yicha o'rtacha hisoblangan ko'pchilik elementlar uchun amal qiladigan 1E energiyaga kesmalarining bog'liqlik qonuni bo'lsa, Maksvell kesimi:

$$\bar{\sigma}_a = 0,886 \cdot \sigma_a(293K) \cdot \sqrt{293/T_H} \cdot F(x_{gr}) \quad (1.16)$$

bu yerda, $x_{gr} = E_{gr}/E_T$ va $F(x_{gr})$ funksiya ilova, 3-jadvalda keltirilgan.

U^{235} , Pu^{239} , Xe^{135} ning tutashuv kesimlari $1/\sqrt{E}$ qonuniga bo'ysunmaydi, ular uchun x_{gr} va T_N ga bog'liq o'rtacha kesmalar ilovaning 5-7-jadvallarida keltirilgan. x_{gr} Fermi va Maksvell spektrlarining mos kelishi sharti asosida aniqlanadi:

$$\bar{\Sigma}_a / (\xi \Sigma_s) = f(x_{gr}) \quad (1.17)$$

Turli xil x_{gr} uchun funksiya qiymatlari Ilova, 4-jadvalda keltirilgan.

x_{gr} va o'rtacha $\bar{\sigma}_a$ kesmalarni aniqlash quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1. $x_{gr}=3$ qiymatini belgilang.
2. Tanlangan x_{gr} uchun U^{235} uchun yutulish kesimini topamiz (5-jadvaldan). Qolgan elementlarning yutulish kesimlari 1.16-formuladan foydalanib hisoblanadi.
3. $\bar{\Sigma}_a = \sum_i \Sigma_a^i$ va (1.17.) tenglamaning chap tomonini hisoblang.
4. (1.17) tenglamaning chap tomonining qiymati bo'yicha 4-ilovadan x'_{gr} ni aniqlaymiz. 5. x_{gr} va x'_{gr} ($|x'_{gr} - x_{gr}| < 0,5$) qiymatlari yaqin bo'lsa, x_{gr} va $\bar{\sigma}_{ai}$ to'g'ri topilgan deb faraz qilamiz, aks holda, eski x_{gr} va x'_{gr} o'rtasida yangi x_{gr} ni tanlaymiz. va 2-bosqichdagi protsedurani takrorlang.

Olingan kesmaning qiymatlari 1.2-jadvalga kiritilishi kerak.

1.2-jadval

$T_H = \underline{\quad}$ K da Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha yutilish kesimlari

Element (modda)	^{235}U	^{238}U	k.m	H ₂ O	O	Summa

$\bar{\sigma}_a(x_{gr} = 4),$ $10^{-24} sm^2$						
$\bar{\Sigma}_a(x_{gr} = 4),$ sm^{-1}						

1.4. CHEKSIZ MUHITDA KO‘PLASH KO‘RSATKICHI.

Cheksiz muhitda ko‘paytirish omili to‘rt omil formulasi bilan muhitning xususiyatlari bilan bog‘liq

$$k_{\infty} = \mu \cdot \varphi \cdot \theta_{\alpha 5} \cdot \eta_{\alpha 5} \quad (1.18)$$

Termal neytronlardan foydalanish koeffitsiyentini hisoblash uchun yacheykaning geterogen tuzilishini hisobga olish kerak. Yacheykani ikkita zonaga ajratamiz - markaziy (blok) va periferik (retarder). Blok yonilg‘i sterjenchalari bilan birga grafitli sterjenni, moderator - yacheykaning qolgan qismini o‘z ichiga oladi.

$$V_{6H} = \pi \cdot d''^2 / 4, \quad V_3 = V_0 - V_{6H}. \quad (1.19)$$

Keling, quyidagi qiymatlarni kiritamiz: blok radiusi R_1 va moderator radiusi R_2 :

$$R_1 = d'' / 2, \quad R = \sqrt{V_0 / \pi} \quad (1.20)$$

Blokni tashkil etuvchi elementlar uchun biz jadval tuzamiz. 1.3 (blok bilan bog‘liq qiymatlar shtrix bilan belgilangan).

1.3-jadval

Gomogenlashtirilgan blokning bo‘limlari

Element (modda)	$V',$ cm	$N' \cdot 10^{-24},$ cm ⁻³	$\bar{\sigma}_a \cdot 10^{24},$ cm ²	$\overline{\cos(\theta)}$	$\xi \sigma_s \cdot 10^{24},$ cm ²	$\sigma \cdot 10^{24},$ cm	$\bar{\Sigma}_a,$ cm ⁻¹	$\bar{\Sigma}_{tr},$ cm ⁻¹	$\xi \Sigma'_s,$ cm ⁻¹

Blokning jami makroskopik bo‘limlari

Ikkinchi ustun blokda barcha moddalarning birlik balandligidagi hajmlari – V'_i .

Faol zonalarning blokli o‘rtacha konsentratsiyasi:

$$N'_i = N_{0i} \cdot V'_i / V_{6H} \quad (1.21)$$

Tarqalish burchagining o‘rtacha kosinusi c.m.dagi tarqalish izotropiyasining farazidan hisoblanadi.

$$\overline{\cos(\theta)}_i = \frac{2}{3}(A_i)^{-1} \quad (1.22)$$

Transport bo‘limlari:

$$\bar{\sigma}_{tri} = \bar{\sigma}_{ai} + \sigma_{si}(1 - \overline{\cos(\theta)}). \quad (1.23)$$

Suv uchun Maksvell spektri bo‘yicha o‘rtacha hisoblangan transport kesmasi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$\bar{\sigma}_{tr}^{H_2O} = 69 \cdot \sqrt{293/T_i}. \quad (1.24)$$

1.3-jadvalning makroskopik bo‘limlarini sarhisob qilish, gomogenlashtirilgan blokning makroseksiyalarini toping:

$$\bar{\Sigma}_a = \sum_i \bar{\Sigma}_{ai}, \quad \xi \Sigma'_s = \sum_i \xi_i \Sigma'_{si}, \quad \bar{\Sigma}'_{tr} = \sum_i \bar{\Sigma}'_{tr} \quad (1.25)$$

Blokdagi termal neytronlarning diffuziya koeffitsiyenti va o‘zaro uzunligi:

$$D' = 1/(3\bar{\Sigma}'_{tr}), \quad \alpha' = 1/L' = \sqrt{\bar{\Sigma}'_a/D'} \quad (1.26)$$

Ikkinchi zona sof grafitdir. Keyin (ikki chiziqcha qiymat 2-zonada hisoblanganligini ko‘rsatadi)

$$\bar{\Sigma}''_{tr} = \rho_{0C} \cdot \bar{\sigma}^C_{tr}, \quad \bar{\Sigma}''_a = \rho_{0C} \cdot \bar{\sigma}^C_a, \quad D'' = 1/(3\bar{\Sigma}''_{tr}), \quad (\xi \Sigma_s)'' = \rho_{0C} \cdot (\xi \sigma_s)^C. \quad (1.27)$$

Ikki zonadagi termal neytron oqimi zichligining nisbatini diffuziya tenglamasining yechimi yordamida topish mumkin:

$$f = \frac{\Phi''}{\Phi'} = \left[\frac{(R_2^2 - R_1^2) + R_1^2 p}{R_1^2 \bar{\Sigma}'_a} \right]^{-1} \times \left[\frac{R_2^4}{2D''(R_2^2 - R_1^2)} \ln \frac{R_2}{R_1} - \frac{3R_2^2 - R_1^2}{8D''} + \frac{p}{\bar{\Sigma}'_a} + \frac{(R_2^2 - R_1^2) \cdot I_0(\alpha' \cdot R_1)}{2R_1 \cdot D' \cdot \alpha' \cdot I_1(\alpha' \cdot R_1)} \right], \quad (1.28)$$

bu yerda, $p = (\xi \Sigma_s)' / (\xi \Sigma_s)''$ – ikkala zonadagi termal neytron manbalarning quvvatlarining nisbati; I_n - tasavvuriy argumentning Bessel funksiyasi (8-ilova).

Endi biz uran-235 tarkibidagi termal neytronlardan foydalanish koeffitsiyentini hisoblashimiz mumkin:

$$\theta_{a5} = \frac{V_{6H} \cdot \bar{\Sigma}_a'^{235}}{V_{6H} \cdot \bar{\Sigma}_a' + f \cdot V_3 \cdot \bar{\Sigma}_a''} \quad (1.29)$$

Uran-235 ning tutilishi uchun ikkilamchi neytronlarning o‘rtacha soni

$$\eta_{a5} = \frac{\bar{\sigma}_f^{235}}{\bar{\sigma}_a^{235}} \cdot \nu_5. \quad (1.30)$$

Berilgan T_N va x_{gr} uchun U^{235} ning o'rtacha bo'linish kesimlari 9-ildovada keltirilgan. U^{235} bo'linish hodisasiga to'g'ri keladigan neytronlarning o'rtacha soni $\nu_5 = 2,47$.

Tez neytronlar uchun ko'payish koeffitsiyentini hisoblab chiqamiz μ , yoqilg'idan chiqarilgan neytronning moderatoridan o'tishi va U^{238} bo'linish chegarasidan yuqori energiyaga ega bo'lgan boshqa yoqilg'i elementiga kirish imkoniyatini e'tiborsiz qoldiramiz. Uran-238 dan tayyorlangan silindrsimon yonilg'i elementlari holatida:

$$\mu = 1 + \frac{P_0 \cdot (\sigma_{f8} \cdot \nu_8 - \sigma_{c8} - \sigma_{f8})}{\sigma_{t8} - P_0 \cdot (\sigma_{e8} + \sigma_{f8} \cdot \nu_8)}, \quad (1.31)$$

bu yerda, P_0 - neytronning yoqilg'i bloki ichida birinchi to'qnashuvini boshdan kechirish ehtimoli (bu ehtimollikning $r^3 \sum_t^b$ funksiyasi va r^2/r^3 nisbati 11-ildovada keltirilgan); σ_{f8} - energiyalari 1 MeV dan katta bo'lgan neytronlarning bo'linishi uchun o'rtacha kesma ($\sigma_{f8} = 0,29 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$); σ_{c8} - parchalanishsiz tutilish kesimi ($\sigma_{c8} = 0,04 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$); $\sigma_{c8} = \sigma_{tr8}$ - elastik sochuvchi transport kesma ($\sigma_{e8} = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$); σ_{in8} - noelastik sochilish kesimi ($\sigma_{in8} = 2,47 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$); σ_{t8} - tez neytronlarning U^{238} bilan o'zaro ta'sirining umumiy kesmasi ($\sigma_{t8} = 4,3 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^2$); $\nu_8 = 2,86$.

Rezonansli tutilishdan qochish ehtimolini hisoblash uchun biz yarim empirik formuladan foydalanami

$$\ln \varphi = \frac{-1}{V_0 \cdot (\xi \Sigma_s)} \cdot \left[0,4 S_u \cdot (1 + 0,0175 \sqrt{T_u}) \sqrt{\bar{l} \cdot N_{0u} \cdot 10^{-24} + 4,9 V_u \cdot N_{0u} \cdot 10^{-24}} \right] \quad (1.32)$$

gomogenlashtirilgan yacheykaning sekinlashuv qobiliyati (1.12) formula bo'yicha topilgan; $S_u = n \cdot 2\pi r_3$ - yechaykadagi umumiy uranning yuzasi; Kelvindagi T_u - yonilg'ining harorati (1.2-bandda belgilangan); $\bar{l} = 4\nu_8 = 2,86 V_u / S_u$ — yonilg'i ning elementining uran egallagan qismining barcha yo'nalishlarda o'rtacha hisoblangan akkordi.

Shunday qilib, (1.18) formulaning barcha to'rtta koeffitsiyenti aniqlanadi va cheksiz muhitda ko'paytirish omili hisoblanishi mumkin.

1.5. REAKTORNING REAKTIVLIGINI HISOBLASH.

Birinchiidan, yacheykadagi diffuziya uzunligi va sekinlashuv uzunligini topamiz. Diffuziya uzunligi kvadrat:

$$L^2 = (3 \cdot \bar{\Sigma}_a \cdot \bar{\Sigma}_{tr})^{-1}. \quad (1.33)$$

Yacheyka ustidagi yutulish kesimini o‘rtacha hisoblash oqim zichligining bir xil emasligini hisobga olgan holda amalga oshirilishi kerak.

$$\bar{\Sigma}_a = \frac{V_{6l} \cdot \bar{\Sigma}_a + f \cdot V_3 \cdot \bar{\Sigma}'_a}{V_{6l} + V_3 \cdot f}. \quad (1.34)$$

Tashish kesimini o‘rtacha qilish uchun oddiy homogenlash kifoya qiladi:

$$\bar{\Sigma}_{tr} = \frac{V_{6l} \cdot \bar{\Sigma}_{tr} + V_3 \cdot \bar{\Sigma}'_{tr}}{V_0}. \quad (1.35)$$

Sekinlashuv uzunligining kvadrati (yosh):

$$\tau = u_{zp} / (3 \cdot \xi \Sigma_s \cdot \Sigma_{tr}(1eV)), \quad (1.36)$$

chegaradagi letargiya qayerda $u_{gr} = \ln(2 \cdot 10^6 E_{gr})$; $E_{gr} = x_{gr} \cdot E_T$, ($\xi \Sigma_s$) 1.3-bo‘limda topilgan. $\Sigma_{tr}(1 eV)$ ni aniqlashda biz 2-ilova ma’lumotlaridan foydalanamiz.

Effektiv ko‘paytirish omili:

$$k_{yo} = k_{\infty} \cdot \exp(-B^2 \tau) / (1 + B^2 L^2). \quad (1.37)$$

Silindrsimon reaktor uchun geometrik parametr B^2 :

$$B^2 = \left(\frac{4,81}{D_{a.z} + 2\delta_{ef}} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{H_{a.z} + 2\delta_{ef}} \right)^2, \quad (1.38)$$

bu yerda, δ_{eff} - reflektor tufayli faol zonaga samarali qo‘shilish. δ_{eff} ni aniqlash uchun biz bir o‘lchovli geometriyada ikki guruhli yaqinlashuvda olingan formuladan foydalanamiz:

$$\delta_{ef} = \frac{1}{k} \cdot \arctg \left(\frac{k}{k_{ref}} \cdot \frac{\Sigma_{tr}^{ref}(1 eV)}{\Sigma_{tr}^{a.z}(1 eV)} \cdot th(k_{ref} \cdot \Delta) \right), \quad (1.39)$$

bu yerda, $\Sigma_{tr}^{a.z}(1 eV)$, $\Sigma_{tr}^{ref}(1 eV)$ - faol zona va reflektordagi tez neytronlarning transport kesmalari (2-ilova); Δ – reflektorning qalinligi, sm.

Faol zona va reflektorining moddiy parametri formula bo‘yicha topiladi:

$$k = 1 / \sqrt{\tau + L^2}. \quad (1.40)$$

Reflektordagi termal neytronlarning diffuziya uzunligining kvadrati (1.33) ifodaga muvofiq aniqlanadi, neytron yoshi:

$$\tau_{ref} = \frac{u_{gr}}{3(\xi \Sigma_s \cdot \Sigma_{tr}(1eV))_{ref}}, \quad (1.41)$$

bu yerda, letargiyaning chegara qiymati faol zonadagi qiymatga teng bo‘lishi mumkin.

Reaktorning reaktivligi ko‘paytirish koeffitsiyenti orqali aniqlanadi:

$$\rho = \frac{k_{ef}-1}{k_{ef}}. \quad (1.42)$$

1.2-bo‘limda o‘zboshimchalik bilan tanlangan faol zonada issiqlik chiqarishning bir xil bo‘lmaganlik koeffitsientini baholaylik. Bu koeffitsient termal neytron oqimi zichligining notekislik koeffitsientiga to‘g‘ri keladi.

Silindrsimon geometriyada:

$$k_r = \frac{c \cdot D_{a.z}}{4 \cdot J_1(c \cdot D_{a.z}/2)}, \quad k_z = \frac{g \cdot H_{a.z}}{2 \cdot \sin(g \cdot H_{a.z}/2)}, \quad (1.43)$$

bu yerda, J_1 haqiqiy argumentning birinchi turining Bessel funksiyasi (8-ilova); c va g - geometrik parametrning radial va aksenal qismlari:

$$c = \frac{4,81}{D_{a.z} + 2\delta_{ef}}, \quad g = \frac{\pi}{H_{a.z} + 2\delta_{ef}}. \quad (1.44)$$

Endi $k_v = k_r \cdot k_z$ hisoblangan qiymatni 1.2-bandda tanlangan qiymat bilan solishtirish kerak. Agar ushbu qiymatlar orasidagi tafovut 10% dan oshsa, 1.2-banddagi hisob-kitoblar bir xillik koeffitsiyentlarining yangi qiymatlari bilan takrorlanishi kerak.

1.6. REAKTORNI ISHLATISHDAGI IZOTOPNING TARKIBI VA REAKSIYONLIGINING O‘ZGARISHI.

Reaktorning ishlashi jarayonida faol zonaning izotopik tarkibi o‘zgaradi, eng muhim jarayonlar: U^{235} kuyishi, Pu^{239} to‘planishi, zaharlanish va shlakning to‘planishi. Bundan tashqari, Pu^{239} ni Pu^{240} va Pu^{241} ga aylantirish mahsulotlari chuqur charchashda sezilarli rol o‘ynaydi. Bizning hisob-kitobimizda oxirgi ikki jarayon hisobga olinmaydi.

Kompaniya boshida ko‘payish tezligini toping:

$$KB = \frac{\bar{\sigma}_a^8 \cdot N_{08}}{\bar{\sigma}_a^5 \cdot N_{05}} + \mu \cdot \eta_{a5} \cdot (1 - \varphi) \cdot e^{-B^2 \cdot \tau}. \quad (1.45)$$

Termal reaktorlar uchun KB (коэффициент воспроизводства) odatda 0,5÷0,8 oralig‘ida bo‘ladi. Bunday qiymatlarda plutoniyning faol zonada to‘planishi ko‘payish omilining o‘zgarishiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. $K_{eff}(z)$ bog‘liqligini aniqlash uchun biz z qiymatini kiritamiz, bu kunlarda t vaqti bilan yagona bog‘liqdir.

Va $t=0$ va $z=0$ da.

U^{235} va Pu^{239} ning faol zona zichligi z ga quyidagicha bog‘liq:

$$N_{09}(z) = N_{08} \cdot \frac{S_8}{S_9} (1 - e^{-S_9 \cdot z}) + N_{05}(0) \frac{\mu \cdot \eta_{a5} \cdot (1 - \varphi) \cdot e^{-B^2 \cdot \tau}}{S_9 - 1} \cdot (e^{-z} - e^{-S_9 \cdot z}),$$

$$N_{05}(z) = N_{05}(0) \cdot \exp(-z), \quad (1.46)$$

Qayerda $S_8 = \frac{\bar{\sigma}_{a8}}{\bar{\sigma}_{a5}}$; $S_9 = \frac{\bar{\sigma}_{a9}}{\bar{\sigma}_{a5}} [1 - \mu \cdot \eta_{a9} \cdot (1 - \varphi) \cdot e^{-B^2 \tau}]$; $\eta_{a9} = v_9 \frac{\bar{\sigma}_{f9}}{\bar{\sigma}_{a9}}$;
bo'linish aktiga neytronlarning o'rtacha soni Pu^{239} $v_9 = 2,87$.

Reaktorning ish vaqti kunlarda z bilan quyidagicha ifodalanadi

$$t = \frac{0.35 \cdot 10^{-18}}{P'_0} \left\{ S_{f5} \cdot N_{05}(0) \cdot (1 - e^{-z}) \cdot \left[1 + \frac{S_{f9} \cdot \eta_{a5}}{S_{f5} \cdot S_9} \cdot \mu \cdot (1 - \varphi) \cdot e^{-B^2 \tau} \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{S_{f9}}{S_9} [N_{05} \cdot S_8 \cdot z - N_{09}(z)] \right\}, \quad (1.47)$$

bu yerda, $S_{f5} = \frac{\bar{\sigma}_{f5}}{\bar{\sigma}_{a5}}$; $S_{f9} = \frac{\bar{\sigma}_{f9}}{\bar{\sigma}_{a5}}$; $P'_0 = \frac{P}{V_U \cdot H_{A,F} \cdot N_{ishchi}}$ – yoqilg'i hajmining birligiga ajratilgan o'rtacha solishtirma quvvat, kVt/sm³.

$\bar{\sigma}_{a9}$ va $\bar{\sigma}_{f9}$ bo'limlari T_N va x_{gr} ga muvofiq 6,10 ilovalaridan topilgan.

$K_{eff}(z)$ bog'liqligini aniqlash uchun shlaklar va zaharli bo'laklarning makroskopik qismlari kerak. t operatsiyasi davomida to'plangan juft parchalar soni shu vaqt ichida sodir bo'lgan bo'linishlar soniga teng:

$$N_{0shl} = 2,85 \cdot 10^{18} \cdot N'_0 \cdot t. \quad (1.48)$$

Ksenon va samariyni hisobga olmaganda, o'rtacha har bir juft bo'lakning termal neytronni yutish kesimi 50 mlrd. Demak:

$$\bar{\Sigma}_a^{shl} = 50 \cdot 10^{-24} \cdot N_{0shl}. \quad (1.49)$$

Ksenon va samariy tomonidan termal neytronlarning yutulishi uchun muvozanatning makroskopik kesmalari:

$$\bar{\Sigma}_{aXe} = \frac{\omega_{Xe} \cdot (\bar{\Sigma}_{f5} + \bar{\Sigma}_{f9})_z}{1 + \lambda_{Xe} / (\Phi \cdot \bar{\sigma}_{aXe})_z}, \quad (1.50)$$

$$\bar{\Sigma}_{aSm} = \omega_{Sm} \cdot (\bar{\Sigma}_{f5} + \bar{\Sigma}_{f9})_z. \quad (1.51)$$

Bir parchalanish hodisasi uchun izotop rentabelligi: $\omega_{Xe}=0,059$, $\omega_{Sm}=0,014$.

Ksenonning yemirilish konstantasi: $\lambda_{Xe}=2,09 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan ksenonni yutish kesimi 7-ilovada keltirilgan. Termal neytron oqimining zichligi o'ziga xos quvvat orqali aniqlanadi:

$$\Phi = \frac{3,3 \cdot 10^{13} \cdot P'_0}{\bar{\Sigma}_{f5}(z) + \bar{\Sigma}_{f9}(z)}, \text{ neytron/sm}^2 \cdot \text{s} \quad (1.52)$$

Endi siz to'rt omil formulasing koeffitsientlarini hisoblashingiz mumkin.

Uran-235 yoki plutoniy-239 tomonidan yutilish aktida ikkilamchi neytronlarning o'rtacha soni:

$$\eta_a(z) = \frac{\eta_{a5} \cdot \bar{\Sigma}_{a5}(z) + \eta_{a9} \cdot \bar{\Sigma}_{a9}(z)}{\bar{\Sigma}_{a5}(z) + \bar{\Sigma}_{a9}(z)}. \quad (1.53)$$

Izotop tarkibi faqat yonilg'i elementlarida o'zgarganligi sababli, biz blokdagi yutilish kesimini qayta hisoblaymiz (bu yerda, $\bar{\Sigma}_0^5(0) = N_0^5(0) \cdot \bar{\sigma}_0^5$):

$$\left[V_{bl} \cdot \bar{\Sigma}'_a \right]_z = \left[V_{bl} \cdot \bar{\Sigma}'_a \right]_0 + V_u \cdot \left[\bar{\Sigma}_a^{shl}(z) + \bar{\Sigma}_a^{Xe}(z) + \bar{\Sigma}_a^{Sm}(z) + \bar{\Sigma}_a^9(z) + \bar{\Sigma}_a^5(z) - \bar{\Sigma}_a^5(0) \right]. \quad (1.54)$$

Gomogenlashtirilgan yechaykadagi o'rtacha yutilish kesimi ($f = \Phi''/\Phi'$ nisbat o'zgarmagan deb taxmin qilamiz)

$$\bar{\Sigma}_a(z) = \frac{(V_{bl} \cdot \bar{\Sigma}'_a)_z + f \cdot V_3 \cdot \bar{\Sigma}_a''}{V_{bl} + V_3 \cdot f}. \quad (1.55)$$

Termal neytronlardan foydalanish koeffitsienti

$$\theta(z) = \frac{V_u \cdot (\bar{\Sigma}_a^5 + \bar{\Sigma}_a^9)_z}{(V_{bl} \cdot \bar{\Sigma}'_a)_z + f \cdot V_3 \cdot \bar{\Sigma}_a''}. \quad (1.56)$$

(1.33) formula bo'yicha $L^2(z)$ ni qayta hisoblaymiz

$$L^2(z) = \left(3 \cdot \bar{\Sigma}_a(z) \cdot \bar{\Sigma}_{tr}(z) \right)^{-1}. \quad (1.57)$$

μ va φ koeffitsientlari izotop tarkibiga bog'liq emas, shuning uchun

$$k_\infty(z) = k_\infty(0) \cdot (\theta \cdot \eta_a)_z / (\theta \cdot \eta_a)_0, \quad (1.58)$$

$$k_{ef}(z) = k_\infty(z) \cdot \exp(-B^2 \tau) / (1 + B^2 L^2(z)) \quad (1.59)$$

Hisoblash vazifalari reaktor kompaniyasining ishlash muddatini aniqlashni o'z ichiga oladi, ya'ni, ortiqcha reaktivlikni nolga tushirish vaqti. Buning uchun $k_{eff}(z)=1$ tenglamani yechish kerak. Yechimni quyidagi ketma-ketlikda grafik tarzda topish tavsiya etiladi. $k_{eff}(z)$ ning grafigini quramiz. Birinchi nuqta darhol qo'llanilishi mumkin - $k_{ef}(0)$, ya'ni. kompaniyaning boshida ko'paytirish omili. Keyin $z=0,3$ qiymatini tanlaymiz va 1,46-1,59 formulalar yordamida $k_{ef}(z)$ ni topamiz va olingan nuqtani grafikda chizamiz. k_{eff} ning keyingi qiymati dastlabki ikki nuqta orqali o'tkazilgan to'g'ri chiziqning $k_{eff}=1$ to'g'ri chiziq bilan kesishgan nuqtasida aniqlanadi. Agar yangi qiymat 1 dan 0,05 dan kam farq qilsa, oxirgi z reaktorning

ishlash vaqtiga mos keladi deb hisoblash mumkin. Aks holda, olingan uch nuqta orqali silliq egri chiziq chizamiz va bu egri chiziqqa $k_{eff}=1$ da yangi z qiymatini olamiz. Shunday qilib, $|k_{eff}(z_k) - 1| < 0,05$ shart bajarilguncha hisoblashni davom ettiramiz. Olingan qiymatdan (1.47) formula bo'yicha z_k reaktor kompaniyasining davomiyligini hisoblaymiz t_k . Hisoblangan nuqtalar bilan $k_{eff}(z)$ grafigi tushuntirish xatida berilishi kerak. Kompaniya vaqtini t_k bilan plutoniyning to'planishini hisobga olmasdan hisoblangan t'_k vaqtini solishtirish foydalidir:

$$t'_K = \frac{\Delta N_5 \cdot S_{f5}}{2,85 \cdot 10^{18} \cdot P'_0}, \quad (1.60)$$

bu yerda, $\Delta N_5 = N_{05}(z) - N_{05}(0)$.

Kampaniya uchun o'rtacha o'ziga xos yoqilg'i sarfini (uran-235) aniqlaymiz.

Agar uran-235 faol zonalarining zichligi t_k vaqt ichida ΔN_5 ga kamaygan bo'lsa, keyin kuygan U^{235} ning grammdagi massasi:

$$\Delta M_5 = \Delta N_5 \frac{235}{0,602 \cdot 10^{24}} \cdot V_u \cdot H_{a.z} \cdot N_{ishchi}. \quad (1.61)$$

O'ziga xos yoqilg'i sarfi ψ , g/(MVt·kun)

$$\psi = \frac{\Delta M_5}{P \cdot t_k}. \quad (1.62)$$

Kompaniya uchun yoqilg'ining yonish chuqurligi M_{shl} , MW·kun/kg:

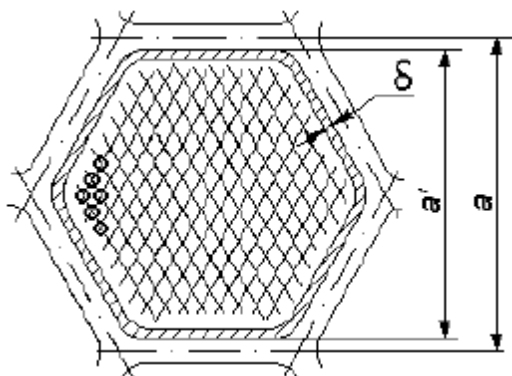
$$M_{shl}(0) = \frac{P \cdot t_k}{M_u(0)}. \quad (1.63)$$

bu yerda, $M_u(0)$ - kompaniya boshidagi uranning massasi.

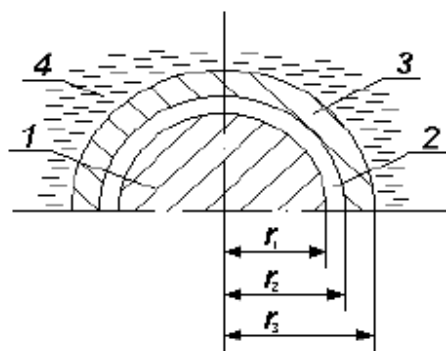
2. VVER REAKTORINING HISOBLARI.

2.1. BOSHLANG'ICH MA'LUMOT.

Reaktorning faol zonasi olti burchakli kasetlarda birlashtirilgan rodlardan yig'iladi (2.1-rasm). Rodlar tashqaridan bosimli suv bilan yuviladi. Kassetalar orasidagi bo'shliqlarda ham suv bor. Sovutish suyuqligining bosimi reaktorning bosimli idishi tomonidan qabul qilinadi.



2.1-rasm VVER reaktor elementining kesimi



1 – yoqilg‘i; 2 - texnologik tozalash; 3 - qobiq; 4 - sovutish suvi (suv)

1 – yoqilg‘i; 2 - texnologik tozalash; 3 - qobiq; 4 - sovutish suvi (suv).

Yacheykava yonilg‘i elementining o‘lchamlari dastlabki ma‘lumotlar sifatida berilgan:

a – yacheykaning balandligi, a' – kassetaning kalit o‘lchami, δ – kasseta qobig‘ining qalinligi, n – kassetadagi yonilg‘i elementlarining soni. Yoqilg‘i elementlari - tashqi sovutish bilan novda (2.2-rasm).

Qobiq materiali, uran-235 x boyitish (UO_2 yoqilg‘isi, $\rho=9,3 \text{ g/sm}^3$) ham ko‘rsatilgan; sovutish suvi parametrlari (kirish va chiqish harorati T_{kir} , T_{chiq} , bosim P), reflektor qalinligi Δ (grafitdan $\rho=1,65 \text{ g/sm}^3$), maksimal issiqlik oqimi $q_{max}=158 \text{ Vt/sm}^2$ va reaktorning issiqlik quvvati P .

2.2. ISSIQLIK HISOBI.

Issiqlik hisobining vazifalari uran-grafit reaktori uchun 1.2-banddagi kabi. Boshlang‘ich qiymat dastlabki ma‘lumotlarda ko‘rsatilgan maksimal issiqlik oqimi q_{max} bo‘ladi.

Bosimli suv reaktorining kletkasi olti burchakli shaklga ega, uning hajmi faol zona balandligining 1 sm ga teng:

$$V_0 = a^2 \cdot \cos(30^0) = a^2 \cdot 0,866 \quad (2.1)$$

Faol zona hajmining birligiga o‘rtacha energiyaning yuki:

$$P_0 = \frac{\Pi_0 \cdot n \cdot \bar{q}}{V_0}, \quad (2.2)$$

bu yerda, $\Pi_0 = 2\pi r^3$ - bitta yonilg‘i elementining issiqlik uzatish yuzasining perimetri.

Bir xillik koeffitsiyenti k_v , 1.2-bo'limda bo'lgani kabi, $2 \div 3$ ichida, boshlang'ich qiymati 2 ga teng.

Faol zonaning hajmini topish:

$$V_{az} = \frac{P}{P_0}. \quad (2.3)$$

Yassilash koeffitsiyenti bilan $m=D_{a.z}/H_{a.z}=1$ faol zonaning diametri va balandligi:

$$D_{az} = H_{az} = \sqrt[3]{4 \cdot V_{az}/\pi}. \quad (2.4)$$

Ishlaydigan yacheykalar soni

$$N_{yach} = V_{az}/(V_0 \cdot H_{az}). \quad (2.5)$$

VVER reaktoridagi sovutish suvi ham moderator bo'lgani uchun o'rtacha harorat:

$$\bar{T}_z = (T_{kir} + T_{chiq})/2. \quad (2.6)$$

Yoqilg'i sterjenlarini tashqi sovutish bilan yoqilg'i harorati T_z dan yuqori bo'lishi kerak. Termofizik hisobni o'tkazmasdan, biz taxminan $T_U=T_z+100 K$ ni olamiz.

2.3. MUHITNING MAKROSKOPIK KESIMLARINI ANIQLASH.

VVER reaktorlarining faol zonasi yonilg'i elementlarining kichik diametri va yonilg'i elementlarining bir-biriga yaqin joylashishi (yaqin panjaralar) bilan tavsiflanadi. Bu yacheyka ichidagi neytron oqimining zaif bir xil bo'lmisligiga olib keladi, shuning uchun faol zonaning barcha o'rtacha xarakteristikalari (rezonansni ushlab qolishdan qochish ehtimoli bundan mustasno) oddiy yacheyka gomogenizatsiyasi usuli yordamida hisoblab chiqiladi.

Gomogenizatsiya 1.3-bandda bo'lgani kabi amalga oshiriladi.

1 sm kasseta uzunligi uchun yoqilg'ining hajmi

$$V_u = \pi \cdot r_1^2 \cdot n. \quad (2.7)$$

Yoqilg'i qoplamasining hajmi (konstruktiv material):

$$V'_{KM} = \pi \cdot (r_3^2 - r_2^2) \cdot n. \quad (2.8)$$

Kassetali qobiqlarning hajmi:

$$V''_{KM} = [a'^2 - (a' - 2 \cdot \delta)^2] \cdot \cos(30^\circ) \quad (2.9)$$

1 sm kasseta uzunligi uchun strukturaviy materialning umumiy hajmi:

$$V_{KM} = V'_{KM} + V''_{KM} \quad (2.10)$$

Kassetadagi suvning hajmi:

$$V'_{H_2O} = (a' - 2 \cdot \delta)^2 \cdot \cos(30^0) - \pi \cdot r_3^2 \cdot n. \quad (2.11)$$

Kassetalar orasida:

$$V''_{H_2O} = (a^2 - a'^2) \cdot \cos(30^0). \quad (2.12)$$

1 sm kasseta uzunligi uchun umumiy suvning hajmi:

$$V_{H_2O} = V'_{H_2O} + V''_{H_2O}. \quad (2.13)$$

Keyingi hisob-kitoblar uran-grafit reaktorini hisoblashning 1.3-bandiga muvofiq amalga oshiriladi.

2.4. CHEKSIZ MUHITDA KO'PAYISH KOEFFISIYENTI.

Biz to'rt omil formulasi ko'effitsiyentlarini aniqlaymiz:

$$k_{\infty} = \mu \cdot \varphi \cdot \theta_{a5} \cdot \eta_{a5} \quad (2.14)$$

Bir hil muhitda termal neytronlardan foydalanish ko'effitsiyenti:

$$\theta_{a5} = \bar{\Sigma}_{a5} / \bar{\Sigma}_a. \quad (2.15)$$

Uran-235ning tutilishida ikkilamchi neytronlarning o'rtacha soni:

$$\eta_{a5} = \frac{\bar{\sigma}_{f5}}{\bar{\sigma}_{a5}} \cdot \nu_5. \quad (2.16)$$

Yaqin uran-suv panjaralarida tez neytronlarda ko'payish ko'effitsienti bir xil aralashmaning μ ko'effitsiyentiga yaqin bo'ladi. Bir xil uran-suv aralashmalari uchun μ hisoblash natijalari quyidagi formula bilan yaxshi tavsiflanadi:

$$\mu = 1 + 0,19 \cdot \frac{V_U^0}{V_U^0 + V_{H_2O}^0}, \quad (2.17)$$

bu yerda, V_U^0 va $V_{H_2O}^0$ - mos ravishda U^{238} va suvning hajmlari, normal zichlikka tushiriladi, ya'ni:

$$V_{H_2O}^0 = V_{H_2O} \cdot \frac{\rho_{H_2O}(T_3, p_3)}{\rho_{H_2O}(273K, 1MPa)}, \quad V_U^0 = V_U \cdot \frac{N_{0U}}{N_U^0}. \quad (2.18)$$

bu yerda, $N_U^0 = 0,0479 \cdot 10^{24} \text{ cm}^{-3}$ - metall urandagi U^{238} ning faol zona konsentratsiyasi.

Rezonans tutilishidan qochish ehtimolini hisoblash uchun yacheykaning geterogen tuzilishini hisobga olish kerak, ya'ni, u yerda $S_U = n \cdot 2\pi \cdot r_l$ va $V_U = \pi \cdot r_l^2 \cdot n$ o'rniga (1.32) formuladan foydalaning.

2.5. REAKTORNING RADIOAKTIVLIGINING ZAHIRA HISOBI.

Biz uran-grafit reaktorini hisoblashning 1.5-bandiga muvofiq bosimli suv reaktorining reaktivligini ko'rib chiqamiz. Shu bilan birga, gomogenlashtirilgan yacheykadagi diffuziya uzunligi kvadratini aniqlash uchun $\bar{\Sigma}_a$ va $\bar{\Sigma}_{tr}$ ni topish osonroq.

Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan yutulish kesimi $\bar{\Sigma}_a$ 2.3-bo'limdan olinadi va transport kesmasi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\bar{\Sigma}_{tr} = \sum N_i \left[\bar{\sigma}_{ai} + \sigma_{si} \cdot \left(1 - \overline{\cos(\theta)_i} \right) \right]. \quad (2.19)$$

Biz izotopik tarkibning vaqt o'tishi bilan o'zgarishini hisoblaymiz va reaktor kompaniyasini 1.25-bobdagi kabi aniqlaymiz.

ILOVALAR

1-jadval

Suv zichligining harorat va bosimga bog'liqligi

$t, ^\circ\text{C}$	Suv zichligi, bosimdagi g / sm^3 , MPa, teng					
	5	10	12	14	18	20
160	0,889	0,893	0,894	0,895	0,897	0,899
190	0,879	0,882	0,883	0,884	0,887	0,888
200	0,867	0,871	0,872	0,874	0,876	0,878
210	0,855	0,859	0,861	0,862	0,865	0,866
220	0,843	0,847	0,848	0,850	0,853	0,855
230	0,829	0,834	0,836	0,837	0,841	0,842
240	0,815	0,820	0,822	0,824	0,828	0,830
250	0,800	0,806	0,808	0,810	0,814	0,816
260	0,784	0,791	0,793	0,795	0,800	0,802
270	0,024	0,774	0,777	0,779	0,784	0,787

280		0,756	0,759	0,762	0,768	0,771
290		0,737	0,740	0,744	0,750	0,753
300		0,715	0,720	0,724	0,731	0,735
310		0,054	0,696	0,701	0,710	0,714
320			0,669	0,675	0,686	0,692

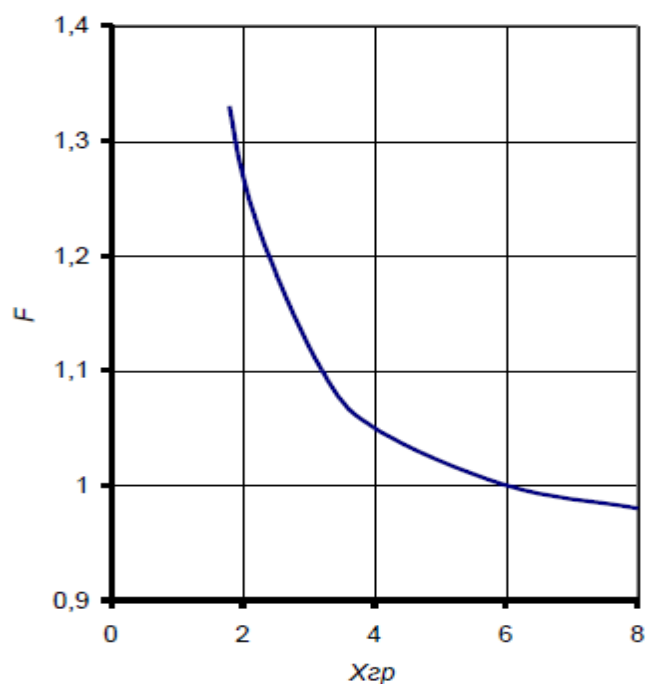
2-jadval

Faol zona ma'lumotlari va neytron kesimlari

element, modda	ρ , g/sm ³	A, m.a.b.	Kesimlar, 10 ⁻²⁴ sm ²				
			σ_f (0,025 eV)	σ_a (0,025 eV)	σ_s (1 eV)	$\xi \cdot \sigma_s$ (1 eV)	σ_{tr} (1eV)
O	0,00143	16	0	2·10 ⁻⁴	3,8	0,46	3,6
H ₂ O	0,997	18	0	0,661	46	42,5	9,5
C	1,6	12	0	0,0037	4,8	0,75	3,7
Zr	6,44	91	0	0,185	6,2	0,14	6,1
Stal 1X18H9T	7,9	*	0	2,8	10,1	0,37	10,3
U ²³⁵	18,7	235	584	694	10	0,09	7,8
U ²³⁸	18,94	238	0	2,71	8,3	0,07	7,7
Pu ²³⁹	19,79	239	742	1028	9	0,08	10

* Po'lat faol zona zichligi $0,085 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^{-3}$, termal neytronning po'latdagi tarqalish burchagining o'rtacha kosinusi $\cos(\theta) = 0,012$.

3. $F(x_{gr})$ funksiyaning grafigi.



$$\text{Funksiya } f(x_{gr}) = \frac{x_{gr}^2 \cdot e^{-x_{gr}}}{1 - (1+x_{gr}) \cdot e^{-x_{gr}}}$$

x_{gr}	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
$f(x_{gr})$	0,56	0,43	0,32	0,24	0,18	0,13	0,091	0,064

Neytron gazining harorati va Fermi va Maksvell spektrlarining o'zaro bog'lanishi funksiyasi sifatida Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan Uran-235 tutilish kesimlari

T_H, K	E_T, eV	$\bar{\sigma}_a, 10^{-24} \text{sm}^2, x_{gr} \text{ ga teng}$				
		3	4	5	6	8
300	0,0258	656	616	597	588	583
400	0,0344	554	520	504	497	493
500	0,0430	485	457	443	437	434
600	0,0517	436	409	399	395	392
700	0,0603	396	375	367	363	360
800	0,0689	367	350	344	339	335
900	0,0775	345	331	323	318	315
1000	0,0861	327	314	305	301	298
1100	0,0947	314	301	291	286	282
1200	0,1030	303	287	276	273	269

T_n va x_{gr} ga qarab, Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan Plutoni-239 kesmalari

T_H, K	E_T, eV	$\bar{\sigma}_a, 10^{-24} \text{sm}^2, x_{gr} \text{ ga teng}$				
		3	4	5	6	8
300	0,0258	1047	1011	998	993	994
400	0,0344	949	928	924	931	954
500	0,0430	894	887	910	948	1003
600	0,0517	865	895	973	1068	1095
700	0,0603	862	959	1140	1206	1205
800	0,0689	895	1115	1320	1326	1814

900	0,0715	968	1350	1444	1426	1412
1000	0,0861	1108	1535	1536	1510	1491
1100	0,0947	1330	1647	1604	1573	1652
1200	0,1053	1593	1715	1649	1615	1593

7-jadval

Ksenon-135 radiatsiyaviy tutilish kesimlari T_n va x_{gr} funksiyasi sifatida Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan

T_H, K	E_T, eV	$\bar{\sigma}_a, 10^{-18} \text{sm}^2, x_{gr}$ ga teng					
		3	3,5	4	5	6	8
300	0,0258	2,89	2,78	2,71	2,61	2,57	2,54
400	0,0344	2,69	2,58	2,50	2,41	2,36	2,33
500	0,0430	2,48	2,37	2,29	2,19	2,14	2,11
600	0,0517	2,27	2,15	2,06	1,96	1,92	1,89
700	0,0603	2,05	1,93	1,84	1,75	1,71	1,69
800	0,0689	1,87	1,74	1,66	1,58	1,54	1,52
900	0,0775	1,68	1,56	1,49	1,42	1,38	1,36
1000	0,0861	1,52	1,42	1,35	1,28	1,25	1,23
1100	0,0947	1,39	1,29	1,23	1,17	1,14	1,12
1200	0,1033	1,26	1,17	1,11	1,05	1,03	1,20

8-jadval

Bessel funksiyalari $I_0(x)$, $I_1(x)$, $J_1(x)$

x	$I_0(x)$	$I_1(x)$	$J_1(x)$	x	$I_0(x)$	$I_1(x)$	$J_1(x)$
1,0	1,27	0,565	0,440	2,6	3,55	2,76	0,471
1,1	1,33	0,638	0,471	2,7	3,84	3,02	0,441
1,2	1,39	0,715	0,498	2,8	4,16	3,30	0,410
1,3	1,47	0,797	0,522	2,9	4,50	3,61	0,375
1,4	1,55	0,886	0,542	3,0	4,88	3,95	0,339
1,5	1,65	0,982	0,558	3,1	5,29	4,33	0,301
1,6	1,75	1,09	0,570	3,2	5,75	4,73	0,261
1,7	1,86	1,20	0,578	3,3	6,24	5,18	0,221
1,8	1,99	1,32	0,582	3,4	6,79	5,67	0,179
1,9	2,13	1,45	0,581	3,5	7,38	6,21	0,137
2,0	2,28	1,59	0,577	3,6	8,03	6,79	0,096
2,1	2,45	1,75	0,568	3,7	8,74	7,44	0,054
2,2	2,63	1,91	0,556	3,8	9,52	8,14	0,013
2,3	2,83	2,10	0,540	3,9	10,4	8,91	-0,027
2,4	3,05	2,30	0,520	4,0	11,3	9,76	-0,066
2,5	3,29	2,52	0,497	4,1	12,3	10,7	-0,103

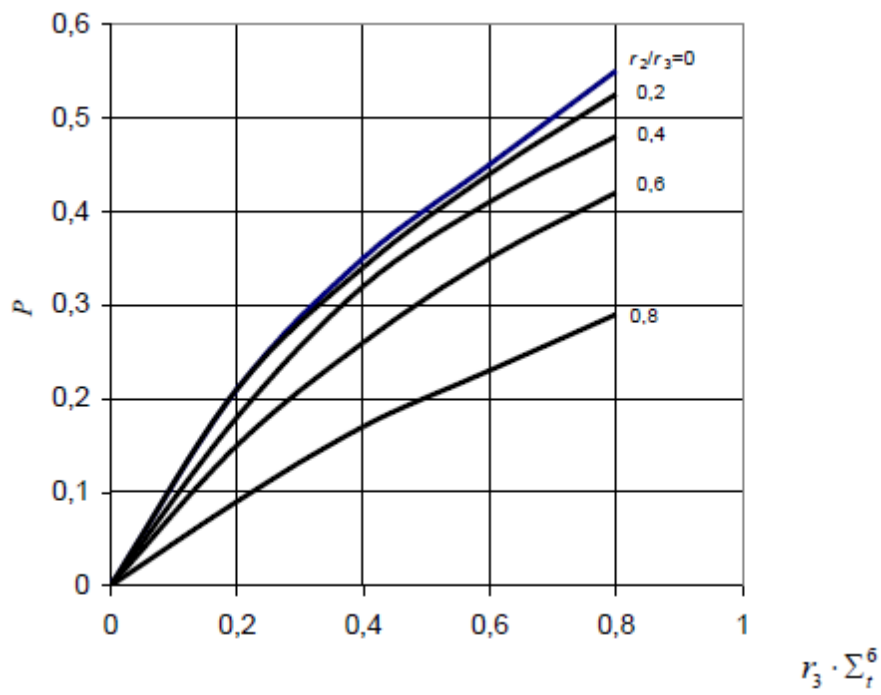
**T_n va x_{gr} funksiyasi sifatida Maksvell spektri bo'yicha o'rtacha hisoblangan
Uran-235 ning bo'linish kesimlari**

T_n, K	E_T, eV	$\bar{\sigma}_f, 10^{-24} \text{sm}^2, x_{gr}$ ga teng				
		3	4	5	6	7
300	0,0258	555	522	506	499	494
400	0,0344	471	443	429	424	420
500	0,0430	415	389	378	373	370
600	0,0517	373	350	340	337	333
700	0,0603	340	320	314	310	307
800	0,0689	314	299	292	288	285
900	0,0775	294	281	278	271	268
1000	0,0861	277	266	258	254	252
1100	0,0947	265	253	246	243	240
1200	0,1030	255	243	235	231	229

**Plutoniy-239 ning bo'linish kesimlari Maksvell spektri bo'yicha T_n va x_{gr}
funksiyasi sifatida o'rtacha hisoblanadi.**

		3	4	5	6	8
300	0,0258	739	708	696	691	690
400	0,0344	658	637	630	632	643
500	0,0430	610	597	606	625	655
600	0,0517	597	589	628	679	694
700	0,0603	567	614	712	747	746
800	0,0689	576	693	802	806	799
900	0,0775	609	817	868	857	847
1000	0,0861	682	914	913	898	887
1100	0,0947	801	972	946	928	916
1200	0,1030	943	1007	968	949	936

11. Silindrsimon (quvursimon) yonilg'i elementlarida birinchi to'qnashuvning ehtimoli



Adabiyotlar ro'yxati

1. Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов. учебное пособие для вузов. / В. С. Окунев — М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010
2. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Издание 5-е. М.: Либроком, 2009.
3. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы, 3-е издание, переработанное и дополненное. М.: Энергоатомиздат. 2002.
4. Бартоломей Г. Г., Бать Г. А., Байбаков В. Д., Алхутов М. С. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов. Издание 2-е, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1989.

Internet ma'lumotlari

1. <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13757/1.pdf>
2. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/nucen.html>
3. <https://allbest.ru/k-2c0a65635b3bc78a4c43a89421306d27.html>
4. <https://www.iaea.org/ru/temy/vodoohlazhdaemye-reaktory>
5. <https://www.iaea.org/ru/temy/yadernye-energeticheskie-reaktory>
6. <https://vmasshtabe.ru/promzona/energetika/proekt-energeticheskogo-reaktora-vver-toi.html>
7. <https://www.ippe.ru/nuclear-power/small-power-npp>
8. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-4/part-1/section-2/2-4/2-4-3>
9. <https://www.ozon.ru/product/yadernye-energeticheskie-reaktory>
10. <https://rep.bntu.by/handle/data/23529>

Mundarija

KIRISH.....	3
Kurs loyihasining maqsadi va vazifalari.....	4
1 KANALLI URAN-GRAFITLI REAKTORNI HISOBLASH.....	8
1.1 Boshlang'ich ma'lumotlar.....	8
1.2 Termik hisoblash.....	8
1.3 O'rtacha makroskopik bo'limlarini aniqlash.....	10
1.3.1 Yacheyka hajmi bo'yicha o'rtacha bo'limlar.....	11
1.3.2 Neytron gazining haroratini aniqlash va maksvell spektri bo'yicha yutilish kesimlarini o'rtacha hisoblash.....	13
1.4 Cheksiz muhitda ko'plash ko'rsatikichi.....	14
1.5 Reaktorning reaktivligini hisoblash.....	17
1.6 Reaktorni ishlatishdagi izotopning tarkibi va reaksiyonligini o'zgarishi.....	19
2 VVER REAKTORINING HISOBLARI.....	23
2.1 Bashlang'ich ma'lumot.....	23
2.2 Issiqlik hisobi.....	23
2.3 Muhitning makroskopik kesimlarini aniqlash.....	24
2.4 Cheksiz muhitda ko'payish koeffitsiyenti.....	25
2.5 Reaktorning radioaktivligining zahira hisobi.....	26
Ilovalar.....	27
Adabiyotlar ro'yxati.....	33

KURS LOYIHASINI BAHOLASH TARTIBI

Kurs loyihasini baholash mezonlari talabalarda ilmiy izlanishga qiziqish uyg‘otish, ularga to‘g‘ri ta‘lim-tarbiya berishga xizmat qilishi zarur. Shu boisdan har bir talaba kurs loyihasini bajarishi masalasiga, ob‘ektiv nuqtai-nazardan yondoshib, bajarilgan ish berilgan talabga to‘la javob berish darajasini ham hisobga olib baholash zarur. Kurs loyihasinining sifat darjasiga qarab tabaqalangan holda baholangan maqsadga muvofiqdir. Yangi reyting tizimi bo‘yicha talabaning kurs loyihasini 5 baho tizim asosida baholanadi. Shuning uchun kurs loyihasini quyidagicha baholash maqsadga muvofiqdir:

№	Belgilangan ball	Baholash mezonlari
1	5 - “A’lo”	Rejadagi savollarning mazmuniga ijodiy yondoshilgan holda to‘la yoritilgan bo‘lsa, grafik qismi talab darajasida bajarilgan bo‘lsa va ish bo‘yicha berilgan savollarga aniq va to‘liq javob berib, o‘zining fikrini erkin bayon etsa bunday tayorlangan kurs loyihalariga «a’lo» baho qo‘yish mumkin.
2	4 - “Yaxshi”	Berilgan hisoblash matereallarida ba’zi kamchiliklar mavjud bo‘lsa, hisob grafik ishi to‘la bajarilgan bo‘lsa va o‘z fikrini bayon qilsa bunday tayorlangan kurs loyihalariga «yaxshi» baho qo‘yish mumkin.
3	3 - “Qoniqarli”	Kurs loyihasida berilgan hisoblash materiallarida ba’zi jiddiy xatolar mavjud bo‘lsa, hamda grafik qismi ham ma’lumotlari to‘liq bajarilmagan bo‘lsada, ammo talaba bajarilgan ishlarga to‘liq tushungan bo‘lsa tayorlangan kurs loyihalariga «qoniqarli» baholash mumkin.
4	2 - “Qoniqarsiz”	Kurs loyihasida quyidagi kamchiliklarga yo‘l qo‘yilgan bo‘lsa, tayorlangan kurs loyihalarida «qoniqarsiz» baholanadi: - kurs loyihasida berilgan texnologik hisoblash ma’lumotlari xato yoki umuman bajarilmagan

		bo'lsa; - grafik qismidagi ma'lumotlar ham qoniqarsiz bajarilgan bo'lsa.
--	--	---

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITET**

«Tasdiqlayman»
«Atom elektr stansiyalari»
kafedra mudiri
_____ dots.Sh.S.Djumanov
_____/ ____/ 20__ yil.

KURS LOYIHASI

Kurs bo'yicha: Yadroviy energetik reaktorlar.

Guruh _____ **Talaba:** _____

TOPSHIRIQ

1. Loyiha mavzusi: _____

2. Dastlabki ma'lumotlar:

Issiqlik hisobi;

Muhitning makroskopik kesimlarini aniqlash;

Cheksiz muhitda ko'payish koeffitsiyenti;

Reaktorning radioaktivligining zahira hisobi.

3. Qo'llanmalar:

Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Колпаков Г.Н., Селиваникова О.В. Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах: учебное пособие. - Томск: Томский Политехнический Университет, 2009.

Абагян Л.П. Групповые константы для расчета ядерных реакторов и защиты: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1964.

Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

Колпаков Г.Н., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах. Часть I: Учебное пособие. - Томск: Издательство ТПУ, 1997.

Г.Я. Мерзликин. Основы теории ядерного реактора. Курс для эксплуатационного персонала АЭС. - С: СИЯЭиП. 2001.

Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. -3-е изд. -М: Энергоатомиздат, 2002.

4. Hisob-tushuntirish yozuvi:

Berilgan mavzu bo'yicha hisoblash.

5. Grafik qismining tarkibi:

Berilgan mavzuga tegishli bo'lgan radioaktivlik va reaktorning energetik samaradorligini hisoblash.

6. Qo'shimcha ma'lumotlar va ko'rsatmalar:

7. Loyihani topshirish davri:

	5	6	7	8	9	Himoya
Fakt						
Reja						

Rahbar _____ / _____

YADROVIY ENERGETIK REAKTORLAR

fanidan kurs loyihasiga

USLUBIY KO'RSATMALAR

Pardayev N.S, Djumanov Sh.S.

Muharrir: Sidikova K.A.