

ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРДЫҢ ЙОДТЫ ШҰҢҚЫРДЫҢ МАТЛАВ ПРОГРАММАСЫНДА IODF0 БАҒДАРЛАМАСЫМЕН ЕСЕПТЕУ

Магзумов Алмас Бейбитулы, Балабеков Бағлан Бауыржанұлы
magzumov96@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ Теоретикалық математика және ғылыми есептеу
институтының ғылыми қызметкері, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі – Амангелді Н., PhD доктор

Кіріспе

Дүние жүзіндегі энергетикалық қажеттілікті қамтамасыз ету үшін әр түрлі жолдар ізделінуде. Қазақстанда дәстүрлі энергия көздері: көмір, мұнай және газ негізгі болып табылады, ал дәстүрлі емес энергия көздерінің бөлігі аз болып келеді. Осы табиғи байлықтар жаңартылмайтын болғандықтан басқа оптималды энергия көздері ізделуде.

Жұмыстың жаңалығы: Қазақстанда болашақ ядролық реакторларда йодты шұңқыр проблемасын алдын алу.

Жұмыстың мақсаты: Matlab программасында iodf0 қолданып йодты шұңқырды есептеу.

Жұмысының өзектілігі: ҮҚРК-1000 реакторында йодты шұңқыр есептеу.

Matlab программасында йодтық шұңқырды есептеуге арналған бағдарламасын қолданып 0,07 % бен 2,4% байытылған ^{235}U жұмыс істейтін реакторлар 200 сағат уақыт ұзақтылығында жұмыс істеп тоқтатылғанан кейін йодтық шұңқырдан шығу уақытын анықтау [1, 352 б].

Йод концентрациясын есептеу

I^{135} изотобының түзілу жылдамдығын анықтаймыз. I^{135} изотобының I атомының ядролық концентрациясы болғандықтан (1 см^3 көлеміндегі ядролар саны), табиғи радиоактивті ыдырау осылай есептелінеді - 1 секунд ішінде 1 см^3 көлемдегі $\lambda_1 I$ ядролар саны, мұндағы λ_1 – ыдырау тұрақтысы. Сонымен қатар, I^{135} концентрациясы нейтрондардың жұтылу жылдамдығы- 1 секунд ішінде 1 см^3 көлемдегі $\sigma_f \Phi I$ саны, σ_f - см^2 өрнектелетін, жылулық нейтрондар қармалуының микроскопиялық көлденең қимасы, ал, Φ - 1 секунд уақыт ішіндегі, 1 см^2 көлемдегі жылулық нейтрондар ағынының шамасы. Басқа тұрғыдан алғанда, I^{135} изотобының түзілу жылдамдығы бөліну санына тәуелді. Егер Σ_f – ядролық жанғыш заттың бөлінуінің макроскопиялық көлденең қимасы болса, онда, бөлінуді туындататын нейтрондар жұтылуының жылдамдығы және бөліну жылдамдығы да 1 секунд ішіндегі 1 см^3 көлемдегі $\Sigma_f \Phi$ нейтрондар санына тең. γ_1 - I^{135} изотобының бөліну өнімі ретіндегі меншікті шығуы болса, яғни, 0,056. Онда, I^{135} изотобының түзілу жылдамдығы 1 секунд аралығында 1 см^3 көлемдегі $\gamma_1 \Sigma_f \Phi$ ядролар санына тең. Осылайша, келесі теңдеуді жазуға болады [2] [3].

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_1 I - \sigma_f \Phi I + \gamma_1 \Sigma_f \Phi \quad (1)$$

және бұл теңдеу уақыт бойынша I^{135} ядроларының көбею жылдамдығын сипаттайды.

I^{135} изотобы үшін микроскопиялық қима $\sigma_f \approx 7 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, Φ шамасы 1 секунд уақыт аралығындағы 1 см^2 көлеміндегі 10^{15} нейтрондар санынан артады. Сол себепті $\sigma_f \Phi$ көбейтіндісі 10^{-8} тең шамада немесе одан да аз шамада болуы тиіс. Басқа тұрғыдан қарағанда, ыдырау тұрақтысы $\lambda_1 = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ сек}^{-1}$. Осының салдарынан, (1) теңдеудегі $\sigma_f \Phi I$ мүшесін $\lambda_1 I$ шамасымен салыстырғанда, елемеуге болады:

$$\frac{dI}{dt} \approx -\lambda_1 I + \gamma_1 \Sigma_f \Phi \quad (2)$$

Реактордың жұмыс процесі кезінде, кейбір уақыт аралығы өткеннен кейін, I^{135} концентрациясы тепе-тең күйдегі шамаға көшеді және dI/dt туындысы нольге айналады. Тепе-тең күй кезіндегі концентрация шамасын I_0 деп белгілесек, ал, сәйкес стационар ағынды Φ_0 арқылы белгілесек, онда, (2) теңдеуден келесі өрнекті аламыз

$$\lambda_I I_0 = \gamma_I \Sigma_f \Phi_0 \quad (3)$$

немесе

$$\frac{dI}{dt} + \lambda_I I = \gamma_I \Sigma_f \Phi \quad (4)$$

Йод концентрациясының уақыт функциясы ретіндегі $I(t)$ формуласын өрнектейік. Осы мақсатта (44) теңдеуді төмендегідей өрнекпен қайта жазайық

Берілген дифференциалдық теңдеудің екі жағын да интегралдық көбейткішке $e^{\lambda_I t}$ көбейте отырып, келесі өрнекті аламыз

$$e^{\lambda_I t} dI + e^{\lambda_I t} \lambda_I I dt = \gamma_I \Sigma_f \Phi e^{\lambda_I t} dt \quad (5)$$

Бұл жердегі ағын Φ уақыт функциясы бола алады. Теңдеудің сол жағы $d(Ie^{\lambda_I t})$ тең толық дифференциалды құрайды, сол себепті,

$$d(Ie^{\lambda_I t}) = \gamma_I \Sigma_f \Phi e^{\lambda_I t} dt \quad (6)$$

Осы өрнекті интегралдай отырып, келесі өрнекті аламыз:

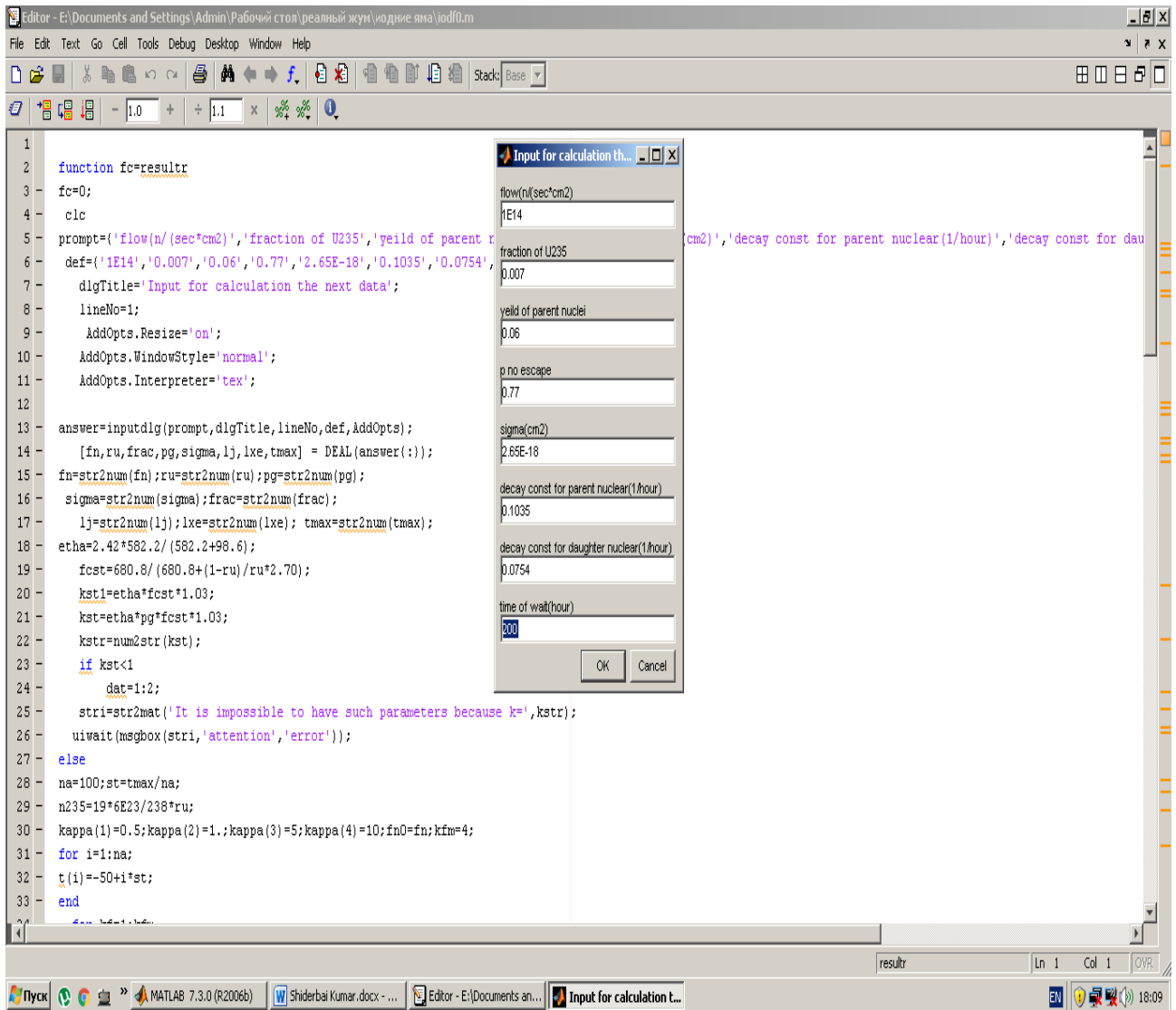
$$I(t) = e^{-\lambda_I t} \left[\gamma_I \Sigma_f \int_0^t \Phi e^{\lambda_I t} dt + I(0) \right] \quad (7)$$

- мұндағы $I(0)$ -уақыт шамасы $t = 0$ болған кездегі йод концентрациясы [2, 236 б.].

Реактордағы йодтың шоғырлану жылдамдығын анықтау барысында, $t = 0$ уақыт моменті реактордың іске қосылу кезіне сәйкес деп қарастыруға болады; бұл жағдайда, $I(0) = 0$. Қарапайымдылық үшін келесі тұжырымдаманы қарастыралық: нейтрондық ағын айтарлықтай тез жылдамдықпен артады, бұл кезде, Φ_0 стационарлық мәні, йод концентрациясының мәнін арттыруға жұмсалатын уақытпен салыстырғанда елеусіз аз уақыт аралығында алынады. Осы шарттар кезінде, (7) формула келесі түрге көшеді:

$$I(t) = e^{-\lambda_I t} \gamma_I \Sigma_f \Phi_0 \int_0^t e^{\lambda_I t} dt = \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_I} (1 - e^{-\lambda_I t}) \quad (8)$$

Программаны қолдану арқылы йодты шұңқырды есептеу
MATLAB жүйені оқып-үйрену қажет емес [4] [5, 51 б.].

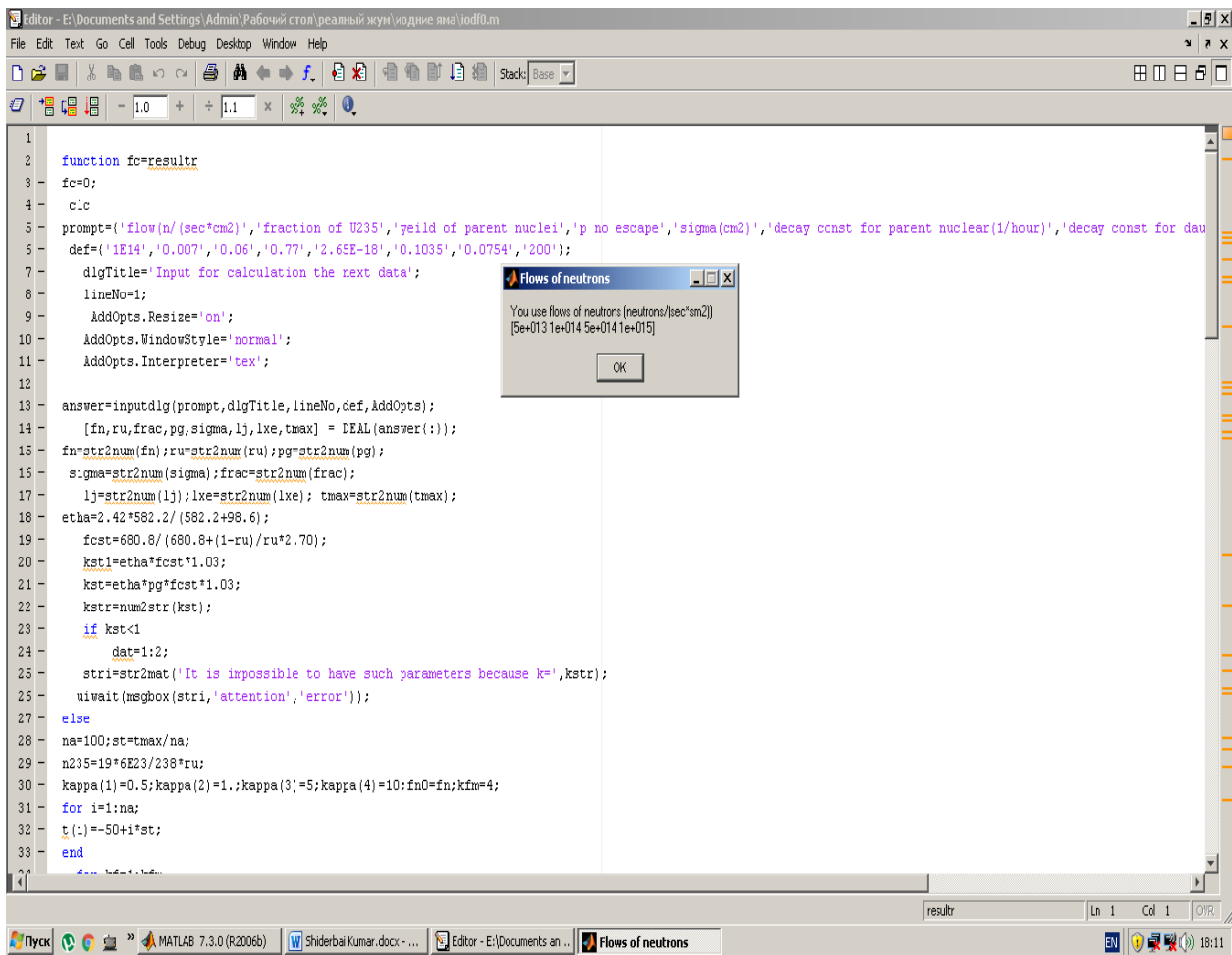


Сурет 1- Реактордың тоқтау моментінен бастап саналатын уақыт, бұл уақыт аралығында сипаттамалар есептеледі – *time of wait (hour)*.

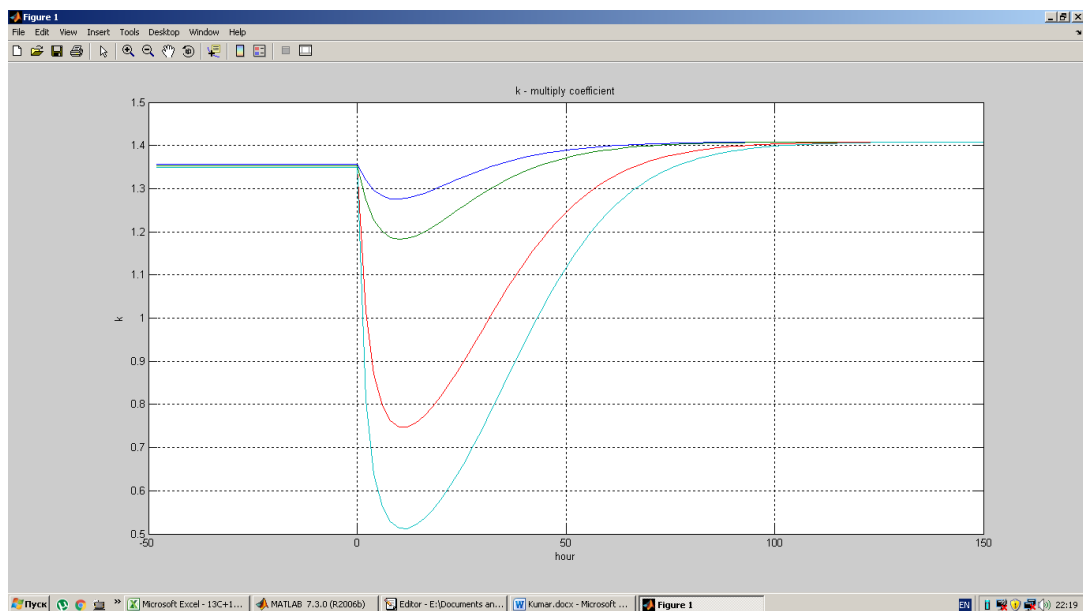
0,7 % байытылған уранда 200 сағат жұмыс істегеннен кейін йодтық шұңқырдың ыдырау уақытын есептеу. Барлық мәндерді енгізген соң төрт нейтрондық параметр шығады:

- 1) Нейтрондар ағынының тығыздығы 5 есе аз болғанда (көк түсті);
- 2) Нейтрондар ағынының тығыздығы тұрақты болғанда (жасыл түсті);
- 3) Нейтрондар ағынының тығыздығы 5 есе көп болғанда (қызыл түсті);
- 4) Нейтрондар ағынының тығыздығы 10 есе көп болғанда (ашық көк түсті).

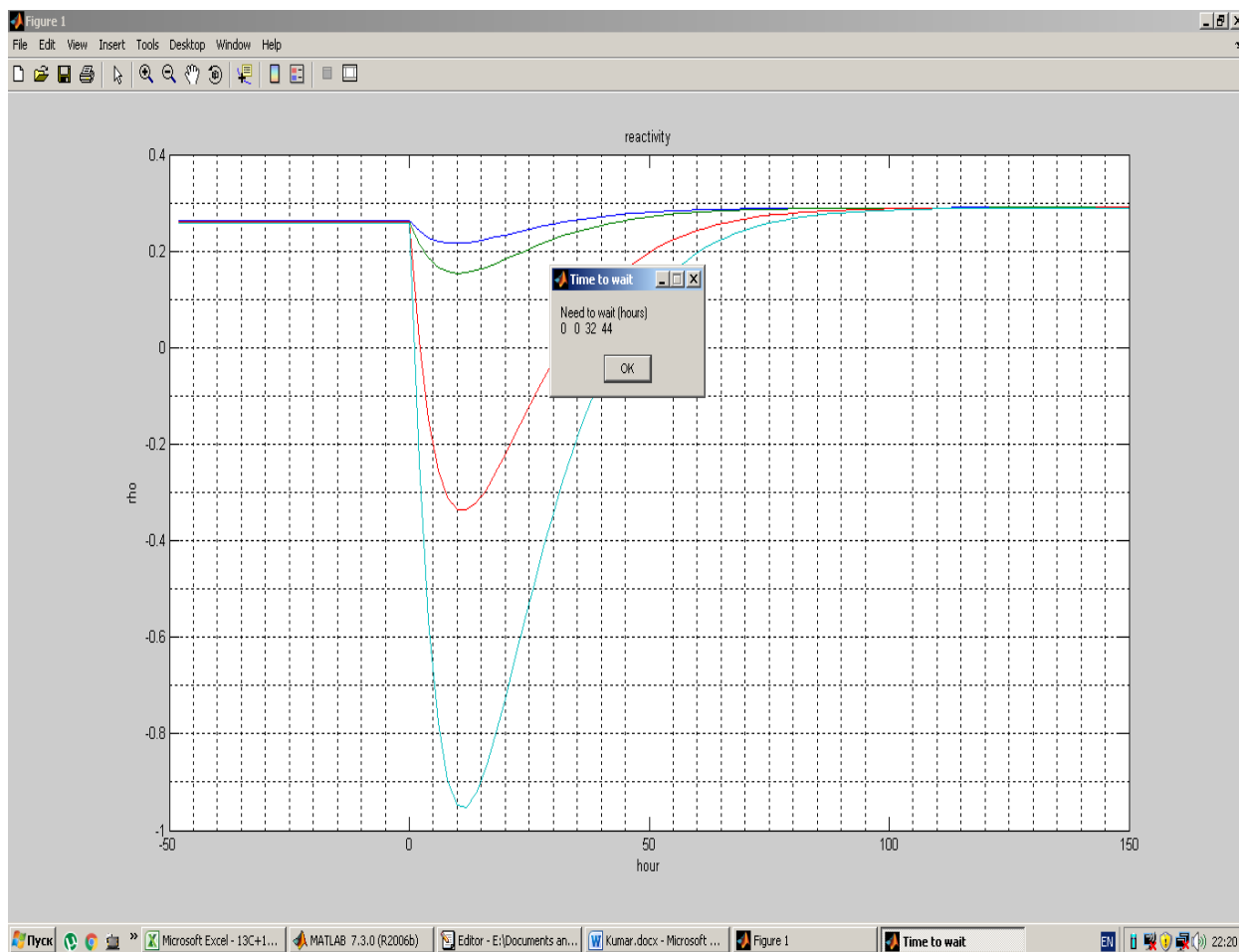
2,4 % байытылған уранда 200 сағат жұмысын тұрақты нейтрондар ағынында жұмыс жасаса йодтық шұңқыр жиналмайды. Бірақ 5 және 10 есе нейтрондар ағыны үлкен болса, онда йодтық шұңқыр пайда болады.



Сурет 2 – Көбіне қолданатын тұрақты нейтрондар ағыны, сондықтан соңында екінші мәнге назар аударамыз.



Сурет 3- 2,4 % байытылған уранда 200 сағат жұмыс істегенде



Сурет 4- Ыдырау уақыты 5 есе 32 сағат, 10 есе 44 сағат.

Қорытынды

Осы ғылыми жұмыста ҰҚРК-1000 реакторындағы 2,4 % байытылған уранда жұмыс істейтін реакторлардың 200 сағат уақыт жұмыс істеген соң, өшірілген жағдайда бағдарлама арқылы йодтық шұңқырдың ыдырау уақытын анықтады. Жиналған мәліметтер арқылы барлық реакторда бөліну және ыдырау өнімін екі топқа бөлуге болады. Бірінші топқа жұту қимасы жоғары ядроларды, ал екінші топқа қалған барлық жұтқыш ядроларды жатқыздық. Бірінші топтағы ядролық өнімдердің ядролармен нейтрондардың жұтылуын – улану, ал екінші топтағы ядролық өнімдердің ядролармен нейтрондардың жұтылуын – реактордың шлактануы деп аталады. Есептеулер кезінде Matlab программасындағы `iodf0` бағдарламасында жүргізілді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Бекунц К., Виртц Л. Нейтронная физика. — Москва: Атомиздат, 1968. — 327 с.
2. Гордеев И.В., Кардашев Д.А., Малышев А.В. Ядерно-физические константы // Справочник. — Москва: Атомиздат., 1963. — 507 с.
3. Потемкин В.Г. МАТЛАВ жүйесі.— Москва: Диалог МИФИ баспасы, 1997. — 496 б.
4. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Метью. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 3. Излучение. Волны. Кванты. Пер. с англ./ под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 3-е, испр. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 240 с.
5. Мухин, К. Н. Занимательная ядерная физика / К. Н. Мухин . — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Энергоатомиздат, 1985 . — 311 с.
6. Фейнберг С.М., Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов // Элементарная теория реакторов.— Москва: Атомиздат, 1978. — 400 с