

Uvajanje reaktorske kinetike v program GNOMER

...

Vid Merljak

V okviru raziskave naprednih metod za merjenje vrednosti reaktivnosti kontrolnih palic v jedrskem reaktorju opravljam nadgradnjo determinističnega difuzijskega programa GNOMER. Časovno odvisna difuzijska enačba za nevtrone v zapisu z energijskimi grupami in z upoštevanjem zakasnelih nevtronov je

$$\begin{aligned} \frac{1}{v_g} \frac{\partial \phi_g}{\partial t} = & \vec{\nabla} \cdot D_g \vec{\nabla} \phi_g - \Sigma_{R,g} \phi_g + \sum_{g', g' \neq g} \Sigma_s^{g' \rightarrow g} \phi_{g'} \\ & + \chi_g^p (1 - \beta) \sum_{g'} \nu_{g'} \Sigma_{fg'} \phi_{g'} + \sum_{i=1}^I \chi_{ig}^d \lambda_i c_i + q_g, \end{aligned} \quad (1.1)$$

pri čemer **obarvani členi** nakazujejo spremembe napram stacionarnem primeru. Izvor zakasnelih nevtronov je opisan s koncentracijami njihovih prednikov, c_i , za le-te pa velja enačba

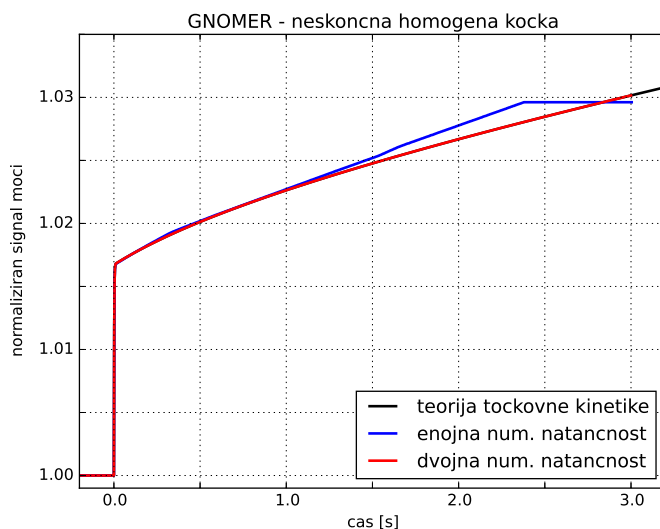
$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \beta_i \sum_g \nu_g \Sigma_{fg} \phi_g - \lambda_i c_i. \quad (1.2)$$

Konferenčni prispevek je poročilo o etapi nadgradnje – še pred upoštevanjem odvoda na levi strani enačbe (1.1). S to izbiro smo omejeni na korakanje s časovnim korakom, ki je enak efektivnemu generacijskemu času, $\Delta t = \Lambda$. (To ustreza konceptu pomnoževalnega faktorja kot razmerja med dvema generacijama nevtronov.) Po drugi strani pa se z omenjeno poenostavitvijo izognemo potrebi po implicitni računski shemi in si olajšamo iskanje programerskih hroščev. Primer hrošča je že izpisovanje fisiske gostote, ki pokvari kinetično simulacijo. Pred izpisom se namreč opravi renormalizacija; ta je dopustna le v statičnem primeru, saj je v kinetiki nova vrednost fisiske gostote odvisna od absolutnih vrednosti iz preteklosti.

Implementacija kinetičnih preračunov je potrdila dejstvo, kako pomembna je postopnost; da najprej implementiramo tisto, kar znamo preveriti, in postopno gradimo na kompleksnosti. Za lažje iskanje izvorov napak smo zato prešli na najenostavnejšo možno geometrijo, t. j. neskončno homogeno kocko (z uporabo refleksijskih robnih pogojev). S tem je omogočena neposredna primerjava kinetične simulacije programa GNOMER z rešitvijo enačb točkovne kinetike (PKE). V ta namen sem razvil lastni program za reševanje PKE z delovnim imenom PKE_RK4ASC, ki je pri validaciji izkazal 9 decimalnih mest natančnosti.

Tekom implementacije kinetičnih preračunov sem naletel na posebej dvoumno in nefizično obnašanje; na fenomen, ki sem ga poimenoval *ravnovesna past*. Po spremembi iz ravnovesnega stanja sta signala nevtronskega fluksa in koncentracij prednikov zakasnelih nevtronov nekaj časa risala pričakovano krivuljo, nato pa sta povsem obstala. To je seveda v očitnem nasprotju s teorijo in eksperimenti. V konferenčnem prispevku nakažem reševanje tega problema vse do dokaza, da je (ob sicer pravilni implementaciji enačb) to

pravzaprav numerična napaka. Razkrila jo je zgolj omejitev na korakanje z dovolj majhnim časovnim korakom, $\Delta t = \Lambda \approx 10^{-5}$ s, s čimer so bile časovne spremembe fizikalnih količin pod enojno numerično natančnostjo. Odpravljanje te napake je zahtevalo prepis celotnega programa v računanje z dvojno numerično natančnostjo, kar pa v ničemer ne podaljša časa izvajanja programa. Učinek *ravnovesne pasti* ter pravilen končni rezultat (izrisana poleg referenčne krivulje) lahko vidimo na spodnji sliki 1.1.



Slika 1.1: Primerjava GNOMERjevih rezultatov pri računanju z enojno in z dvojno numerično natančnostjo ter referenčne krivulje, pridobljene prek teorije točkovne kinetike s programom PKE_RK4ASC.

Prihodnje delo obsega nadaljnje programske posodobitve in validacijo na kompleksnejših dvo- in tridimenzionalnih primerih. Z uporabo kinetičnih zmogljivosti programa GNOMER bomo lahko simulirali časovno odvisnost fisiske gostote med izvajanjem metode vstavitve kontrolne palice in predlagali izboljšave te metode.