

Az egyetem után a Magyar Állami Geofizikai Intézetnél kezdtem munkás életemet. Egy fiatalokból álló társaságban a geofizikai kutatások eredményeinek kiértékelése volt a feladat. Egy idő után arra vágytam, hogy legyen egy nagy tudású kolléga, aki segíteni tud a feladatok megoldásában. Amikor átkerültem a KFKI Atomenergia Kutató Intézetébe, ott Szatmáry Zoltán csoportjában ez a kérdés megoldódott, vele mindenről lehetett beszélni, mindenre volt ötlete.

A KFKI Atomenergia Kutató Intézetében szokás volt a fiatalokat hosszabb időre tanulmányútra küldeni. Akkoriban készült Szatmáry Zoltán csoportjában az első reaktorkód, amiben a diffúziós számításokat egy SYSSYPHUS nevű véges differenciakód – amit Ő és Vigassy József készített – végezte. Mint a kódrendszer koncepcióját, a kódrendszer elemeinek nagy részét is Szatmáry vezetésével készítettük. Ő már akkor úgy gondolta, hogy a jövő a modern számítási módszereké, mint amilyen a végeselem- és a nodális módszer. Ez a nézet kisebbségben volt a reaktorosok között, a többség a párhuzamos processzoroktól várta a számítások gyorsítását.

Az említett végeselem- és nodális kódokról akkoriban jelentek meg az első közlemények német, angol és amerikai folyóiratokban. Arra nem gondolhattunk, hogy nyugatról intézeti riportokat kapunk. A nemzetközi kapcsolatokat az Országos Ösztöndíj Tanács által odaítélt ösztöndíjak jelentették. A beérkezett pályázatok elbírálása olyan körülmények között folyt, hogy megesezt, a pályázat beadásakor még nőtlen jelölt már kétgyermekes családapaként kapta meg az ösztöndíjat. Zoltán úgy gondolta, a képzés része, hogy a fiatalok jó hírű, nyugati intézeteket is megismerhessenek. Ami engem illet, szerettem volna a Kurcsatov Intézetbe ösztöndíjat kapni, de ez szóba sem jöhetett.

Osztályvezetőnk, Kosály György azt ajánlotta, menjek a svájci Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung (EIR) intézetbe, ahol dolgoznak ilyen programok. Mivel maga is hosszabb időt töltött az EIR-ben, felajánlotta, keres alkalmas témavezetőt. (Ebből végülis nem lett semmi, mert mire az ösztöndíjat 1979-ben megkaptam, Kosály illegálisan külföldre távozott, ahogyan akkor mondtuk: disszidált.)

Az EIR-ben Claud Maeder vett szárnyai alá. Úgy gondoltam, a legegyszerűbb, ha bekapcsolódom az ott folyó munkába, így mindenkinek hasznos lesz, ha csinálom valamit. Maeder kifejlesztett egy eljárást és programot, amelyben a diffúziós egyenlet megoldását Legendre-polinomokkal közelítette. Az eljárás a végeselem módszer egy változata volt, nagyon pontos eredmények jöttek ki, igaz, elég lassan.

Idén májusban ünnepelte a reaktorfizikus közösség Szatmáry Zoltán 75. születésnapját. Testvérlapunk, a csak az interneten megjelenő *Nukleon* (<http://nuklearis.hu/nukleon/cikkek>) különszámmal köszöntötte Őt. Az ott megjelent írást a lap engedélyével közöljük.

A hetvenes évek végén két domináns iskola létezett. Az MIT-ban Allan Henry tanítványaival (Kordon Smith, Kalambokas és mások) nodális programokat készített. Ők úgy gondolták csökkenteni a futási időt, hogy a – neutron szabad úthosszához képest nagy – kazettában csak az átlagfluxust és a kazetta peremén a bejövő parciális áramokat határozták meg, azoknak is csak az első pár momentumát tárolták. Ez az ismeretlenek számát jelentősen csökkentette, és a számítások határozottan gyorsabbá és pontosabbá váltak. Henry ötlete volt, hogy a kazettán belül a neutronfluxust analitikusan kellene megadni. Ez azonban még a négyszöges kazetták esetén is csak egydimenziós számításnál volt lehetséges. Ezt a nehézséget úgy védték ki, hogy a diffúziós egyenletet a másik két térbeli változóra integrálták, a megmaradó egyváltozós egyenlet megoldását pedig exponenciális függvényekkel lehetett megadni. Az integrálás után megjelent egy új tag, ami a kifolyás integrálásából adódik, ezt keresztáramnak (cross-leakage) nevezték és egy kvadratikussal közelítették. A számítás másik kellemetlen vonása, hogy a három koordinátára külön-külön kellett iterálni, így a keresztáramok okozta visszacsatolás hibája kelően kicsi lett.

A másik iskola a (nyugat-)németországi KWU-ban Richárd Wagner, Klaus Koebke, Herbert Finemann más utat választott. Ők polinomokkal közelítették a fluxust a kazettában, de nem oldották meg a diffúziós egyenletet, hanem annak csak bizonyos súlyfüggvényekkel vett integráljait tették nullává. Ez volt a végeselem módszer alapjainak.

Claude Maeder nagyon realista volt. Ha előjöttem egy ötlettel, egy darabig vitatkoztunk, megbeszéltük, majd azt mondta: „Jó, akkor csináld meg!” Először egy exponenciálisokkal dolgozó nodális programot írtam, ami SEXI néven bekerült az EIR programtárába. Később azonban feltettem a kérdést: „Miért nem lehet a diffúziós egyenlet analitikus megoldását megadni?” Hamar kiderült, nincs semmi akadály, hiszen a megoldás általános alakja exponenciális függvények lineáris kifejezéseként felírható. Négyszöges geometriára írtam egy ANANAS nevű programot, amiben egyetlen közelítés volt: a nódus peremén előírt parciális áram megadása.

Közben rájöttem, hogy a kazetta szimmetriáit kihasználva a számítást gyorsabbá lehet tenni. Ezt az ötletet az ANANAS programba építettem be, az eredmény egy gyors és pontos algoritmus volt, amelyben az egyetlen korlátot a kazetta peremén előírt peremfeltétel jelentette.

Abban az időben az EIR-ben dolgozott Jacek Arkuszewski, aki egy remek nodális programot (SIXTUS) írt hatszöges geometriára. Megkérdeztem Claude Maedert, össze lehet-e házasítani Jacek programjának szervezését az én analitikus megoldással. A válasz igen volt. Az új algoritmus átírása hatszögekre zökkenőmentesen történt. 1981-ben adtunk hírt az ered-

ményről. Az EIR az algoritmust átadta a japánoknak; egy konferencián már mint EIR-JAERI termékről beszélt róla egy japán előadó.

1980-ban az IAEA ösztöndíj véget ért, hazatérésem után a VVER-1000 projektbe már a gyorsított új algoritmus került be HEXÁN néven. Itt megmutatkozott az analitikus megoldás előnye: a VVER-1000 kazetta átmérője több mint 10 szabad úthossz, mégis a megol-

dás pontossága alig csökkent. Szerencsém volt, személyi változás sem következett be, a stratégia sem változott meg: a diffúziós egyenlet gyors és pontos megoldására továbbra is szükség volt. Azóta az analitikus próbafüggvényeken alapuló módszerek elterjedtek a világban. Biztosan tudom, hogy Japánban, az USA-ban, Svájcban, Németországban – kisebb-nagyobb változtatásokkal – használják.

A FIZIKA TANÍTÁSA

A GRAVITÁCIÓRÓL

avagy: milyen szerepet játszanak világunkban a lovasszobrok? – 2. rész

Bokor Nándor
BME Fizikai Intézet

Érzi-e *valaki* a gravitációt?

Az Einstein-elmélet szerint egy test nem úgy hat gravitációsan egy tömegpontra, hogy erőt fejt ki rá, hanem úgy, hogy begörbíti maga körül a téridőt, és a tömegpont ebben a görbült téridőben halad, a „lehető leg-egyesebb” (geodetikus) világvonalon. Közben – mint a kabin tömegpontnak tekintett utasának példáin láttuk – nem érzi a gravitációt, azaz a téridő görbületét. De akkor honnan tudhatjuk, hogy egyáltalán létezik ez a görbület? Meg tudjuk-e mérni? Lehet-e olyan tapasztalataink, érzetünk, amely kimutatja ezt a görbületet?

Képzeld el, hogy kétdimenziós lények, „laposlények” vagyunk, akik egy gömb felületén élünk. Számunkra a gömb főköréi a geodetikus vonalak. Saját méretünk elhanyagolhatóan kicsi gömbi világunk görbületi sugarához képest. (Ez analóg azzal, hogy a fenti példákban a kabin utasát tömegpontnak tekintettük.) Hogyan tudjuk eldönteni, hogy felületvilágunk görbült-e vagy sík? Íme néhány tapasztalati módszer erre:

(1) Egy laposlény, kezében egy lándzsát tartva elindul, ügyelve arra, hogy a lándzsa se jobbra, se balra ne forduljon ki az eredeti irányából [1]. Zárt görbén

LETÖLTHETŐ ÉS TÖBB, MINT 3 MÉTER SZÉLESEN, SZÍNESEN KINYO

A magyarázó szöveggel kiegészített posztert keresd a Fizikai Szemle (www.fizikaiszemle.hu)

