

Pál Lénárdot egyetemi hallgató korom óta ismerem, de munkakapcsolatunk csak több évtizeddel később lett. Az egyetemen nekünk kinetikus gázelméletet adott elő, de mivel nem az egyetemen dolgozott, spontán nem találkoztunk vele úgy, mint a többi előadóval. Viszont az egyetemi idők után rengeteg szalon kerültem közvetlen vagy közvetett kapcsolatba Lénárddal, ami lényegesen befolyásolta a karrieremet.

Amikor 1972-ben elkezdtem doktori ösztöndíjamat a KFKI akkori AEKI Reaktorfizikai Osztályán, *Kosály Gyuri* lett a témavezetőm, aki viszont korábban, igaz más témában, de Lénárddal volt doktorandusz, tehát jól ismerte. Így áttételesen azonnal lett egy közvetett kapcsolat; Gyurinak rengeteg története volt a saját doktori idejéből, ami Lénárdhoz fűződött. A doktori idő alatt egyszer találkoztam Lénárddal, amikor meglátogatta a Reaktorfizikai Osztályt és mindenkivel elbeszélgetett a folyó munkákról. *Mesko Lacival*, fiatalon elhunyt akkori doktori ösztöndíjas szobatársammal meglepődve tapasztaltuk, hogy Lénárd mennyire otthon van a témánkban, még egy javaslatára is emlékszem az én munkámmal kapcsolatban, aminek később hasznát vettem.

Az első közvetlen kapcsolat 1975-ben, a doktori vizsgám alkalmából jött létre, szintén Kosály Gyuri révén. Akkoriban Magyarországon az atomenergia,

Pál Lénárd első mágneses mérése a Lomonoszov Egyetemről hazatérve, KFKI-ban (1953).



különösen az a speciális ága, ami az én doktori témám volt, a neutronfluktuációkon alapuló reaktorzajdiagnosztika, még nem volt önálló diszciplína. A doktori vizsga témája magfizika lett, mint a legközelebb álló tárgy, de persze a dolgozatom egyáltalán nem tartalmazott igazi magfizikát. Ezért fontos volt, hogy ki lesz a vizsgabizottság elnöke, aki majd a vizsga témáját meghatározza. Gyurinak sikerült elintéznie, hogy Lénárd legyen a vizsgabizottság elnöke, aki a sokszorozó közegekben előforduló neutronfluktuációk (elágazó folyamatok) elméleti megalapozója és nemzetközileg elismert vezető személyisége volt.

E megoldásnak az az óriási előnye volt, hogy a vizsga a magfizika helyett reaktor- és neutronfizikára és véletlen folyamatokra koncentrált. Viszont az volt az „ára”, hogy Lénárd úttörő munkáiból, amelyekkel a reaktorokban lejátszódó elágazó folyamatok elméletét megalapozta, alaposan fel kellett készülnöm. Ennek azután a későbbiekben óriási hasznát láttam, és ez képezi Lénárddal a 2000-es évek eleje óta tartó produktív és élvezetes együttműködés alapját. Ugyanis az elágazó folyamatok masteregyszerű tárgyalása, amit korábban alacsony teljesítményű reaktorokban végzett reaktivitásmérésre használtak („zérózaj-elmélet”, ahol a „zéró” az alacsony teljesítményre utal), az utóbbi évtizedekben óriási fellendülésen ment keresztül: mind a gyorsítóval hajtott szubkritikus reaktorokban (ADS) végzett reaktivitásmérési módszerek kifejlesztésénél, mind a hasadóanyagokat passzív, roncsolásmentes alapon, neutron- és gamma-sugarak detektálásának statisztikai tulajdonságaiból azonosító módszerek jelenlegi kifejlesztésében (safeguard¹) kapott nagy szerepet.

Az 1975-ös doktori vizsgám idején e területnek én még csak passzív szemlélője, tolmácsolója voltam. Egy lépés volt az aktívabb hozzájárulás felé, amikor 1977-ben az ELFT Szilárdtestfizikai Szakcsoportja őszi iskolát szervezett Mátrafüreden sztochasztikus folyamatokról és azok alkalmazásáról. *Szatmáry Zolit* kérték fel, hogy a mi részünkről tartson előadást, aki azonban nem tudott elmenni, és nekem „passzolta át” a meghívást. Egy évvel később ugyanebben a témakörben Fizikus Diákköri Iskola volt Dunaújvárosban, amin szintén ott voltam, és az ott elhangzott előadásokból jegyzet is készült. Ez volt az első publikációm ezen a területen, még ha nem is saját munkáról szólt.

Első saját munkám elágazó folyamatok témakörben 1979-ben született meg, egy 11 hónapos londoni NAÜ-ösztöndíjas tanulmányút alatt, ottani vendéglátómmal, *Mike Williams* professzorral közösen. Ettől kezdve szór-

¹ A „safeguards” jelentése itt: a nukleáris anyagok felhasználását és terjesztését szabályozó nemzetközi szerződés (Atomsorompó Szerződés) előírásainak betartását ellenőrző, neutron- és gamma-sugárzás-méréseken alapuló biztosítéki rendszer (<http://vienna.io.gov.hu/nau-bemutato>).



滿足下列非線性微分方程:

$$\frac{\partial g(t_0, \vec{u}_0; t, \vec{x})}{\partial t_0} = - \left\{ \hat{T}g(t_0, \vec{u}_0; t, \vec{x}) + v_0 \sum_{j=1}^r Q_{j1} g_j[E_0; \vec{X}_j(t_0, \vec{u}_0; t, \vec{x})] + v_0 Q_a \right\},$$

式中

$$Q_a = \sum_{j=1}^r Q_{ja}, Q_i = \sum_{j=1}^r Q_{ij}, Q_l = \sum_{j=1}^r Q_{lj}$$

為俘獲, 散射和裂變的宏觀有效截面, v_0 為射出中子的絕對速度值, 以 \hat{T} 表示運輸算符, 其效應由下列方法推算:

$$Tg(t_0, \vec{u}_0; t, \vec{x}) = v_0 Q_0(t_0, \vec{r}_0, E_0)g(t_0, \vec{r}_0, \vec{Q}_0, E_0; t, \vec{x}) + v_0 \vec{Q}_0 \text{grad } \vec{r}_0 \times g(t_0, \vec{r}_0, \vec{Q}_0, E_0; t, \vec{x}) + v_0 \sum_{j=1}^r Q_{ij}$$

$$(t_0, \vec{r}_0, E_0) \int_{\Omega} \int_0^{\infty} w_j^{(j)}(\vec{Q}_0, E_0; \vec{Q}', E') \times g(t_0, \vec{r}_0, \vec{Q}', E'; t, E) d\Omega' dE',$$

式中 $w_j^{(j)}(\vec{Q}_0, E_0; \vec{Q}', E') d\Omega' dE'$ 是這種幾率, 即 j 型核散射以後散射中子的能量在 E' , $E' + dE'$ 的範圍內, 而其單位的速度矢量是在單位矢量 \vec{Q}' 周圍的立體內部, 條件是在散射時中子能量為 E_0 , 而中子的單位速度矢量为 \vec{Q}_0 .

A Pál-Bell-féle generátorfüggvény-egyenletet tartalmazó 1958-as *Nuovo Cimento* cikk különnyomatának első oldala és a néhány hónappal később kínaira – a szerző tudta nélkül – lefordított közleményben az egyenlet.

ványosan dolgoztam elágazó folyamatok alkalmazásával atomi ütközési kaskádokra. Azonban munkám fő része egy másik típusú neutroningadozási folyamattal foglalkozott, nevezetesen a nagyteljesítményű atomreaktorokban előálló neutronzajjal, amit maga a reaktoranyag tér- és időbeli ingadozása (szabályozórúd-rezgés, kétfázisú áramlás stb.) hoz létre, és amelyek diagnosztizálása volt a munka célja („erőművi zajdiagnosztika”).

Lénárddal való kapcsolatomban kialakulásában döntő szerepet játszott az 1994-es Informal Meeting on Reactor Noise (IMORN) nevű konferencián való részvételem. Ez az európai konferenciasorozat kezdetben a zérózaj-elmélettel és annak alkalmazásaival foglalkozott, de az idők folyamán a hangsúly átkerült az erőművi zajdiagnosztikára. Az 1994-es IMORN „jubileumi” rendezvény volt, a 25-ik, ami kivételesen az USA-ban, Raleigh-ben (Észak-Karolina) került megrendezésre. A jubileumi karaktert kihangsúlyozandó, a szervezők rendeztek egy speciális „nosztalgia” szekciót, és megkérték a résztvevőket, hogy akinek bármi érdekes története van a konferencia, vagy a téma múltjából, járuljon hozzá egy informális előadással. Én úgy éreztem hogy itt érdemes megemlíteni a magyar, nemzetközileg is ismert eredményeket, kezdve Jánosy Lajos munkáival (kozmosz elektron-foton-záporok ingadozásai), Pál Lénárd neutronfluktuációs alapvető munkáján át (a híres „Pál-Bell-egyenlet”) a Kosály Gyuri által erőművi diagnosztikában elért eredményekig (a neutronzaj lokális komponense forralóvizes reaktorokban). Természetesen nem tudtam megállni, hogy el ne dicsekedjem azzal, hogy doktori vizsgámon maga Pál Lénárd volt az elnök, sőt, kicsit az „egzotikum” fokozása érdekében, felmutattam Lénárd néhány eredeti munkáját, amik az *Acta Physica Hungaricában* jelentek meg orosz nyelven.

Lénárd nevének és munkáinak említése, a saját személyes élményekkel együtt, ha lehet ezt a kifejezést használni, döbbenetes hatást keltett. Ő ezen a területen akkor már régóta egy „élő legenda” volt, akivel azon-

ban ez a társaság sohasem találkozott személyesen, még konferenciákon sem. A szekció után sorban jöttek az emberek a kérdésekkel: „Tényleg igaz hogy te találkoztál ezzel a legendás személlyel?” „Aktív még?” „Hány éves? Mivel foglalkozik?” Egy résztvevő elmondta, hogy Lénárd minden egyes munkájának minden sorát elolvasta (az orosz nyelvűeknek is megszerezte egy angol fordítását); ez volt a „bibliája”. Az egész dolog intenzitása teljesen szürrealisztikusnak tűnt.

Akkor született meg a gondolat, hogy ezt az egészen lenyűgöző érdeklődést és tiszteletet mindkét irányban közvetítenem kell. Egyrészt ezt Lénárd tudomására kell hoznom; másrészt a neutronzaj-fizikai közösségnek alkalmat kell adnom arra, hogy találkozzon Lénárddal.

Erre 2002-ben adódott lehetőség, amikor az én osztályom szervezte Chalmersben a 8-ik (és máig utolsó) SMORN meetinget (Specialists' Meeting on Reactor Noise). A konferencia egyik fénypontjaként meghívtuk Lénárdot, hogy a bevezető plenáris szekcióban egy speciális meghívott előadást tartson (a résztvevők megkapták az 1958-as *Nuovo Cimento*-cikk – ebben szerepelt először a Pál-Bell-egyenlet – faksimile kiadását). Nagy örömünkre Lénárd elfogadta a meghívást. Az útra Kati lánya is elkísérte, ami nagy segítség volt Lénárdnak, és amiért mi szervezők hálásak voltunk. Lénárd nagyon emlékezetes előadást tartott *Neutron Noise and Random Trees – Links Between Past and Present* címmel. Elmondta, hogy az első, híres genfi atomenergetikai konferenciával kezdődően (1955) milyen inspirációk vezették a neutronláncokban fellépő ingadozások vizsgálatában. Ehhez jó alapot adott, hogy 1950–53 között Moszkvában Kolmogorov előadásait hallgatta. A genfi konferencia alatt Wigner Jenővel, aki meghívta vacsorára, beszélt erről a kérdéstről, és akkor szűrte le azt a következtetést, hogy a hátrahaladó master (Kolmogorov) egyenleteket kell használni. Az előadás hátralevő részében az akkori, véletlen fák elméletének vizsgálatában elért eredményeit ismertette.

Ettől kezdve aktív kapcsolatban maradtunk, olyannyira, hogy elmondtam Lénárdnak egy engem régóta foglalkoztató problémát abban a reményben, hogy felkelti érdeklődését. Ez azzal volt kapcsolatos, hogy a neutronzaj két területe, az alacsonyteljesítményű rendszerekben fellépő elágazó folyamatok elmélete (masteregyenletes tárgyalás), valamint az erőművi neutronzaj (Langevin-egyenlet), két teljesen különálló, különböző matematikai módszerekkel tárgyalt terület volt. Akkor már régóta terveztem, hogy a neutronzaj-diagnosztika ezen két területéről kellene átfogó könyvet írni, de úgy éreztem, hogy ez a „kapocs” hiányzik hozzá. Kerestem egy „hidat” a két terület között, egy módszert, amivel a neutronfluktuációkat egy időben véletlenül változó közegben – amiben a „zérózaj” és a teljesítményzaj egyszerre van jelen – általánosan le lehet írni masteregyenletek segítségével. Már valamennyire nyomon voltam, de még rengeteg tisztázatlan kérdés maradt.

Nagy öröömre a probléma felkeltette Lénárd érdeklődését. A rá jellemző alapossággal látott neki a megoldásnak, aminek következtében hamarosan kiderült, hogy az az út, amin addig jártam – az általában használt, hátrahaladó egyenletek, amin például a Pál-Bell-egyenlet is alapul – változó paraméterű közegben nem használhatók. Ez egymagában is váratlan új eredmény volt, ha úgy tetszik, egy „szimmetriasértés”, amit más Markov-típusú elágazó folyamatoknál már tapasztaltak, de neutronláncoknál korábban nem. Ezt felismerve, a problémát az előrehaladó masteregyenletek segítségével sikerült megoldani.

Ezek után úgy éreztem, hogy megérett a helyzet a könyv megírására. Mivel akkor már hosszabb ideje együtt dolgoztunk, természetes volt Lénárdot megkérdezni, hogy mi a véleménye, talán együtt is írhatnánk a könyvet? Megkérdeztem, de a válasz előtt el kell mondanom egy anekdotát.

Beszélgetés Ilja Mihajlovics Frankkal (Nobel-díj 1958, „a Cserenkov-effektus felfedezéséért és értelmezéséért”) az MTA klubjában.



Az anekdota egy azon sok történet közül, ami a legendás, múlt század elején született magyar fizikusokról szól. Ebben az esetben Wigner Jenőről. Sajnos a forrást nem tudom megadni, hogy hol olvastam vagy kitől származik. Wigner Jenő valamelyik kollégája mondhatta eredetileg: „Ez a Wigner egy borzasztó alak. Ha az embernek valami új dolog jut az eszébe, és meg akarja kérdezni a véleményét, akkor Wigner, miután meghallgatta a problémát, kis gondolkodás után azt mondja: »igen, ez egy érdekes probléma, ezen már én is gondolkoztam«. És utána kihúzza egy fiókot és kivessz belőle egy jegyzetet, amiben a probléma tökéletes megoldása van leírva.”

E történet egy kicsit Lénárdra is jellemző, ahogy én is azonnal tapasztaltam. Nehéz olyan dolgot mondani neki ezen a területen, amit ne ismerne vagy ne foglalkozott volna vele. A legtöbbször azonnal felsorolja az idevonatkozó fontosabb cikkeket vagy éppen könyveket. Az adott esetben, amikor megkérdeztem hogy van-e kedve egy neutronfluktuációkról szóló könyvet megírni, akkor a válasz az volt, hogy „Én ezt a könyvet már megírtam”. És, ha nem is a fiókból, hanem a számítógépéből, elővett egy fájlt, amiben a zérózaj-elmélet tökéletesen, matematikai szigorral és teljességgel le volt írva. Igaz, magyar nyelven és csak a zérózajra vonatkozó, de egyébként majdnem nyomdába küldhető formában.

Azt hamar láttuk, hogy ehhez az anyaghoz nagyon jól hozzá lehet illeszteni mindazokat a konkrét alkalmazásokra vonatkozó továbbfejlesztéseket, amelyekkel én az azt megelőző években foglalkoztam, gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerekben, illetve safeguards alkalmazásokban. Azt is hamar láttuk, hogy ez az anyag egymagában elég egy könyvre, ebbe tehát a teljesítményzaj elmélete és alkalmazása már nem férne bele sem fogalmilag, sem tartalmilag, még ha a két terület közötti „kapocs”, az időben változó paraméterű közegben a neutronfluktuációk masteregyenletes leírása, tematikailag beleillett és bele is került. A könyv lényegében két részből (elméleti megalapozás és konkrét alkalmazások) állna, amihez az első részt le kell fordítani angolra. Na és persze kiadót találni, és az ezzel kapcsolatos gyakorlati ügyeket intézni.

Lénárd jegyzetének angolra fordításában felmérhetetlen segítséget kaptunk feleségemtől, *Marcstól*. A kiadóval kapcsolatos dolgokat az Elsevier kiadónál – az *Annals of Nuclear Energy* című folyóiratnál betöltött szerkesztőbizottsági tagságom alapján – természetesen én intéztem. A javaslat beküldéséhez egy kész javaslat kellett színopszissal, címmel, szerzőkkel, szerzősor-

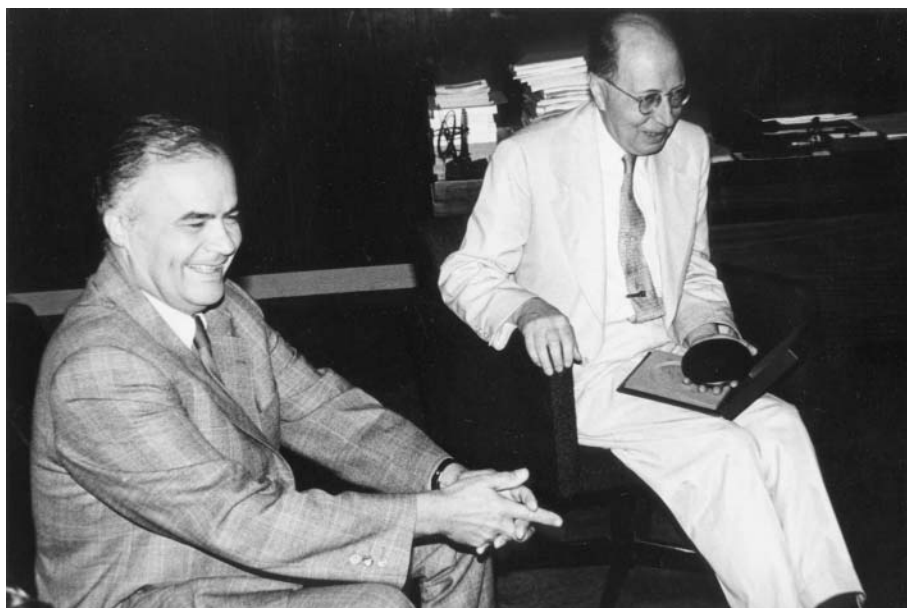
renddel stb. Ami az utóbbit illeti, itt a dolog nyilvánvaló volt. Nemcsak az ábécé sorrend miatt, hanem a hozzájárulások volumenét és színvonalát, a szakmában való ismertséget illetően, nekem eszembe sem jutott más, mint a Pál–Pázsit sorrend, tehát az első változatot ilyen formában küldtem el Lénárdnak.

Azonnal jött a tiltakozó elektronikus válasz: „Kérlek Imrém, cseréld azonnal meg a szerzősorrendet. Ez a Te könyved, a Te ötleted, engem egy további meritálás már úgysem érdekel. Te fogsz a kiadóval, a korrektúrákkal foglalkozni. Minden amelletl szól, hogy Te legyél az első szerző.” És ebben hajthatatlan volt, hiába próbáltam ellenkezni.

Erről egy másik történet jut az eszembe: *Weisskopf* írta a könyvében lelkendezve, annak kapcsán, hogy publikált egy cikket Wigner Jenővel, amiben a szerzők alfabetikus sorrendben jelentek meg: „mondjatok nekem még egy olyan szerencsés valakit, akinek a neve w-vel kezdődik, és mégis első szerző lesz egy cikkben ahol egy Nobel-díjas társszerzője van!” Akkor mit szóljak én, aki egy Lénárd kaliberű társszerzővel, az ábécé sorrend ellenére, első szerző lesz nem egy cikkben, hanem egy könyvben?

A könyvön való dolgozás többször eszembe jutott egy másik történetet. Az én KFKI-s doktori témavezetőmnek, a 2009-ben elhunyt Kosály Gyurinak rengeteg anekdotája volt a saját doktori idejéből,

Wigner Jenővel (Nobel-díj 1963, „az atommagok és az elemi részecskék elméletének továbbfejlesztéséért, különös tekintettel az alapvető szimmetriaelvek felfedezéséért és alkalmazásáért”) a KFKI-ban.



Szentágothai Jánossal és Alekszandr Mihajlovics Prohorovval (Nobel-díj 1964, „a kvantumelektronika területén végzett alapvető munkákért, amelyek a mézer-lézer-elvű oszcillátorok és erősítők megalkotásához vezettek”), annak budapesti látogatásakor az Akadémián.

amikor Lénárd volt a témavezetője. Az egyik ilyen történet: „A doktori tanulmányaim elején kaptam egy könnyű feladatot Lénárdtól, amit ő már megoldott, úgyhogy ez inkább csak egy gyakorlás volt, még a helyes megoldást is megkaptam. Leültem hogy kiszámolom, de meglepetésemre más eredményt kaptam. Utánaszámoltam, megint csak ugyanaz az eredmény jött ki. Még jó párszor ellenőriztem, tévedhetetlenül mindig ugyanaz az eredmény jött ki, ami nem egyezett meg Lénárdéval. Tovább nem húzhattam a dolgot, bármilyen kínos volt, bementem Lénárdhoz, és elmondtam, hogy én más eredményt kaptam. Ha láttad volna az érdeklődést, ami felcsillant az arcán: »na, nézzük, hol rontottad el?»”

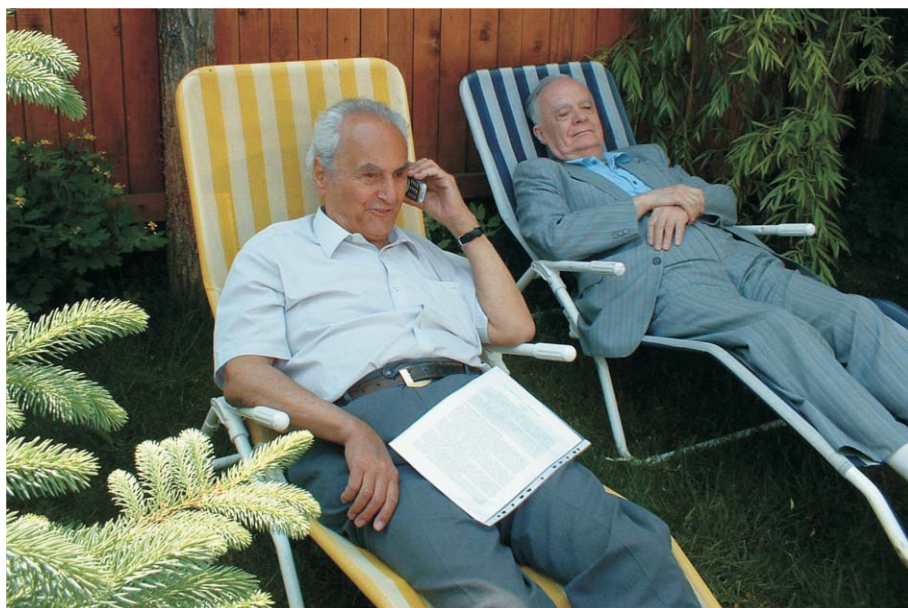
Erre az anekdotára, amit többféleképpen is lehet értelmezni, többször visszaemlékeztem, amikor elkezdtem Lénárdal dolgozni. A helyzet ugyanis az, hogy Lénárd valóban egyszerűen nem téved, vagy legfeljebb olyan gyakorisággal, amit még atomerőművek biztonságos tervezésénél is elfogadnak hibahatárnak. Ilyet más együttműködésben soha nem tapasztaltam. Jó példa erre a közösen írt könyv. A megjelenés után számos helyen vettünk észre sajtóhibát abban a részben, amit én írtam, de abban, ami Lénárd eredeti kéziratából származik, szinte egyet sem.

A könyv megírásával a közös munka természetesen nem fejeződött be, hanem

megszakítás nélkül folytatódott. Mindig van egy aktuális probléma, amin dolgozunk, és minden egyes pesti utam egyik fénypontja az a néhány nap, amit Lénárddal töltök, hogy az éppen aktuális cikket készre írjuk. És ezek a munkák nem „nyugdíjas hobbitévékenységek”, hiszen sikerült a területen jó néhány alapvető problémát azonosítani és megoldani. A safeguard módszerek roncsolásmentes vizsgálati módszereinek általánosan használt levezetésében kimutattunk egy alapvető hibát. Néhány, korábban energiafüggetlen esetre levezetett módszert kiterjesztettünk két energiacsoportha. Lénárd korábbi munkái alapján két nagy összefoglaló cikk is megjelent (lassuláselmélet és a detektorhaldidő statisztikus elmélete), amelyek szintén tartalmaztak új eredményeket. A legutóbbi munka azzal kapcsolatos, hogy a hasadási kamrák folytonos áramjeleinek feldolgozásánál – a kezdetektől a mai napig – az elméleti módszerek („Campbell-technika”) felteszik, hogy a bejövő neutronok függetlenek, ami sokszorozó közegben nem igaz, és amely feltevessel sok fontos információ elvész a rendszerről. Nemrég a nem független bejövő eseményekre való kiterjesztést is megoldottuk, amely teljesen új utakat nyit mind a safeguards, mind a reaktordiagnosztikai módszerekben.

Fenti problémák többnyire analitikusan kezelhetők, de bonyolult számításokkal, amelyek a maga-

Barátjával, Marx Györggyel, az ő 75. születésnapján, 2002 májusában rendezett szűk körű köszöntésen, Mátraderecskén (fotó: Kármán Tamás).



Pjotr Kapicával (Nobel-díj 1978, „alapvető találmányaiért és felfedezéseiért az alacsony hőmérsékletek fizikája területén”) a KFKI-ban.

sabb momentumokra rendkívül hosszú formulákra vezetnek. Ebben sok segítséget nyújt az úgynevezett szimbolikus manipulációs kódok használata, a mi esetünkben konkrétan a Mathematicáé. Ez pedig elvezet egy nem igazán a konkrét kutatómunkára vonatkozó megjegyzéshez, ami talán mégis érdekes lehet. Elmélettel foglalkozó kutatóknál, leginkább az én korosztályomban vagy „feljebb”, nincs mindenki, hogy úgy mondjam, leküzdhetetlen motiváció lépést tartani a programozási és információtechnikai fejlődés minden ágával és mélységével. Lénárdról csak annyit, hogy nemcsak használja, hanem rendszergazda szinten kezeli a latexet és a Mathematicát. Az utóbbiban kifinomult esztétikával megalkotott il-

lusztrációit minden doktori diákomnak példának állítom (sajnos nem sok sikerrel, úgy tűnik a követelmények túl magasak...). Minden hét egyik stabil pontja, amikor a szokásos csütörtök délelőtti skype-beszélgetésünket bonyolítjuk. Az biztos, hogy Lénárd az információs és számítástechnikai fejlődéssel imponálóan lépést tart.

Remélem, a fenti kis írásban sikerült bepillantást adni az együttdolgozás hangulatába és abba, hogy az milyen eredményes és sok örömmel jár. Kívánom, hogy közös munkáinkat ebben a hangulatban és ilyen eredményesen még sokáig folytathassuk, mindkettőnk öröme. Boldog születésnapot, Lénárd!