Irodalom

1. Hartmann E.: Tarján Imre a magyar kristályfizikában. *Fizikai Szemle 62/7–8* (2012) 230–233.
2. L. Pálfalvi, J. Hebling, J. Kuhl, Á. Péter, K. Polgár: Temperature dependence of the absorption and refraction of Mg-doped congruent and stoichiometric $LiNbO_3$ in the THz range. *Journal of Applied Physics 97* (2005) 123505.
3. C. Merschjann, B. Schoke, D. Conradi, M. Imlau, G. Corradi, K. Polgár: Absorption cross sections and number densities of electron and hole polarons in congruently melting $LiNbO_3$. *Journal of Physics Condensed Matter 21* (2009) 015906.
4. V. Szalay, K. Lengyel, L. Kovács, V. Timón, A. Hernández-Laguna: Vibrations of $H^+(D^+)$ in stoichiometric $LiNbO_3$ single crystal. *Journal of Chemical Physics 135* (2011) 124501.
5. Á. Péter, I. Hajdara, K. Lengyel, G. Dravecz, L. Kovács, M. Tóth: Characterization of Potassium Lithium Niobate (KLN) Ceramic System. *Journal of Alloys and Compounds 463* (2008) 398–402.
6. E. Beregi, I. Sajó, K. Lengyel, P. Bombicz, M. Czugler, I. Földvári: Polytypic modifications in heavily Tb and Eu doped gadolinium aluminum borate crystals. *Journal of Crystal Growth 351* (2012) 72–76.
7. G. Corradi, V. Nagirnyi, A. Kotlov, A. Watterich, M. Kirm, K. Polgár, A. Hofstaetter, M. Meyer: Investigation of Cu doped $Li_2B_4O_7$ single crystals by EPR and time resolved optical spectroscopy. *Journal of Physics Condensed Matter 20* (2008) 025216.
8. A. Baraldi, R. Capelletti, M. Mazzera, N. Magnani, I. Földvári, E. Beregi: Hyperfine interactions in YAB:Ho^{3+}: A high resolution spectroscopy investigation. *Physical Review B 76* (2007) 165130.

A HULLÁMFÜGGVÉNY TUDATTÓL FÜGGETLEN REDUKCIÓJA

Elfogult sorok Károlyházy Frigyesről

Kádár György
MTA TTK MFA

Egyik barátom, kinek apja a 40-es években piarista diák volt, azzal fordult hozzám, fizikushoz, hogy *Károlyházy Frigyes*t, apja gimnáziumi osztálytársát II. kerületi díszpolgári címre javasolhatnánk. Azt hiszem magamról, hogy meg tudom ítélni az emberek intellektuális szintjét, Károlyházy Fricit a magas szellemi képességű emberek között tartottam számon, szívesen elvállaltam a díszpolgári címre felterjesztés összeállítását, pedig akkor még nem is ismertem a gravitáció és a kvantumelmélet kapcsolatáról írt cikkét, az abban megfogalmazott zseniális gondolatokat.

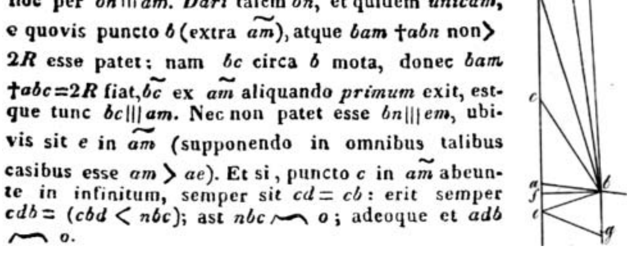
Károlyházyt az 1960-as évek közepén az Eötvös Loránd Tudományegyetemen láttam először közelebbről a fizikushallgatók számára is meghirdetett speciális kollégiumának hallgatása idején. Olyan példákkal és hasonlatokkal tudta elmagyarázni a kvantumelmélet és a relativitáselmélet józan paraszti ésszel tulajdonképpen összeférhetetlen kísérleti tényeit és azok elméleti értelmezését, hogy a hallgatóság meg tudta győzni önmagát, hogy ezek a bonyolult, de szigorú kísérleti mércék szerint is érvényes fizikai tények és levezetések mégis össze tudnak férni a magasabb szempontok síkjára felemelt józan paraszti ésszel.

1966 óta háromszor láttam viszont, két alkalommal előadásain a hallgatóság soraiban ülve, személyes kapcsolat nélkül, egyszer egy klubeseményen megkezdett, sajnos folytatás nélkül maradt személyes beszélgetésünk alkalmával.

Legalább húsz éve már, hogy Károlyházy egy pesti kis könyvtárban szinte csak nyugdíjas hallgatóságnak *Bolyai János*ról tartott előadást. Erről élesen bennem maradt az előadás néhány mondata, visszatekintve mintha önmagáról beszélt volna, megpróbálom hozzávetőlegesen visszaidézni: „Szinte megható, hogy Bolyai mennyire nem törődött önmaga és mondanivalója népszerűsítésével. Hiszen az *Appendix* bevezetéseként leírhatta volna, hogy évtizedig küzdöttem a paralellák tételével és ugyan nem jutottam eredményre, de közben rájöttem, hogy van olyan geometria, amely a párhuzamosok tétele nélkül is megáll a lábán. Ez az *Appendix*ben közölt tanulmány ezen új geometria leírása.” És ilyen bevezető magyarázat után folytathatta volna azzal, amivel valójában elkezdte, ahogy rögtön belevágott: „Si rectam $\widetilde{am}$ non secet plani ejusdem recta $\widetilde{bn}$, et secet quaevis $\widetilde{bp}$ (in *abn*): designetur hoc per *bn* | | | *am*.” vagyis „Ha az $\widetilde{am}$ egyenest nem metszi ugyanazon sík $\widetilde{bn}$ egyenese, és metszi bármelyik más (az *abn* szögbe eső) $\widetilde{bp}$: akkor ez *bn* | | | *am* módon jelöltetik.” (*1. ábra*)

Carl Friedrich Gauss időben felismerte Bolyai János munkájának jelentőségét, és *Bolyai Farkas*nak írt levelében meglehetős kétértelműséggel fejezte ki elismerését: „… Fiad munkájáról: … nem szabad dicsérnem, … ha dicsérném, akkor magamat dicsérném…”. Gauss leírja, hogy 30-35 évvel korábban ő már ugyanezeket az eredményeket végiggondolta, de a kortársait nem tartotta képesnek gondolatai befogadására, ezért nem írta le, és nagyon örvend annak, hogy éppen régi barátjának fia előzte meg a közlésben. Bolyai Jánost lesújtotta ez a levél, egyrészt azért, mert Gauss kétségbe vonni látszott az ő időbeli elsőbbségét, másrészt azért, mert a nagy tekintélyű tu-

1. ábra. Bolyai *Appendix*ének idézett részlete és a hozzá tartozó ábra.


§ 1. (Fig. 1.) Si rectam $\widetilde{am}$ non secet plani ejusdem recta $\widetilde{bn}$, at secet quaevis $\widetilde{bp}$ (in *abn*): designetur hoc per *bn*|||*am*. *Dari* talem $\widetilde{bn}$, et quidem *unicam*, e quovis puncto *b* (extra $\widetilde{am}$), atque *bam* ✝*abn* non > 2*R* esse patet; nam *bc* circa *b* mota, donec *bam* ✝*abc*=2*R* fiat, $\widetilde{bc}$ ex $\widetilde{am}$ aliquando *primum* exit, estque tunc *bc*|||*am*. Nec non patet esse *bn*|||*em*, ubivis sit *e* in $\widetilde{am}$ (supponendo in omnibus talibus casibus esse *am* > *ae*). Et si, puncto *c* in $\widetilde{am}$ abeunte in infinitum, semper sit *cd* = *cb*: erit semper *cdb* = (*cbd* < *nbc*); ast *nbc* ⁀ *o*; adeoque et *adb* ⁀ *o*.

dós a kortárs matematikusok érettségének hiányára hivatkozva nem akarta őt a névtelenségből kiemelve nyilvánosan elismerni. Csoda, hogy 1832 után még több mint 30 vagy 50 év kellett Bolyai munkája jelentőségének felismeréséhez?

Másodszor 2007 februárjában láttam viszont Károlyházyt amikor egy előadást tartott a Műegyetemen, a Szkeptikus Konferencián *Tündérkert – egy kis időtöltés a téridőn* címmel. Az előadás videofelvétele ma is megtekinthető, és érdemes is megtekinteni a következő internetes honlapon: http://videotorium.hu/hu/recordings/details/252,Tunderkert_egy_kis_idotoltes_a_teridon. Egyetemi tanulmányaim óta úgy tudom, hogy a fény sebessége nem függ a fényforrás sebességétől, minden inerciarendszerben azonosan kereken $3 \cdot 10^8$ m/s. Ez igaz is, ha az anyagtól független háromdimenziós térbeli távolságok és a mindentől függetlenül hömpölygő idő mérésének *Einstein* előtti hagyományos módszerét alkalmazzuk. Ez az a határsebesség, amely a sebesség-összeadás relativitáselméleti képlete szerint elérhetetlen, felülmúlhatatlan. Károlyházy Frigyes „tündérkerti” előadásában egy szokatlan, de logikus nézőpont szerint az inerciarendszerek egymáshoz viszonyított sebességére ívhosszal mért új definíciót alkalmazva kimutatta, hogy a négydimenziós téridő fogalmi keretében a fény relatív sebessége bármilyen fényforráshoz, véges sebességű inerciarendszerhez képest végtelen. Elmagyarázta, hogy egy álló inerciarendszerben elindíthatunk egy véges relatív sebességű másik inerciarendszert (rakétát), ugyanabban az időpontban ebben is elindíthatnak egy önmagához képest ugyanolyan véges relatív sebességű rakétát, amely ugyanakkor elindíthat egy harmadikat, az egy negyediket, és így tovább. Bemutatta, hogy ezzel a gondolatkísérlettel végtelen számú előzőhöz képest azonos relatív sebességű rakéta indítása esetén sem érhetjük el a fénykúpot, ezért a fény sebességét a téridőben végtelennek kell tekintenünk. A látszólagos ellentmondás magyarázata a nézőpontok különbözősége, a hagyományos Minkowski-fénykúp felülmúlhatatlan sebessége tekinthető végtelen nagy sebességnek is.

Ugyanezen előadás befejező mondatai rávilágítottak Károlyházy véleményére a felületes tudással áltudományos téveszmék rabságába ragadt jóindulatú emberekről, a tudomány komoly művelőinek ilyen emberekhez való viszonyáról. Arról beszélt, hogy mélyen átgondolt tudás és az átadás képességével együtt elsajátított ismeretek nélkül nincs jogunk az „örökmozgó hívőket”, vagy a józan paraszti ésszel nehezen felfogható relativisztikus és kvantumos fogalmak naiv „reformátorait” bírálni, netán lenézni. Meg kell próbálni a valódi tudást ilyen naiv jóindulatú embereknek is hitelesen elmagyarázni. Hozzá kell tennem, hogy az „égő vizes” vagy „szénből vasat konyhai mikróban alkimizáló” hivatásos szélhámosok esete nem ide tartozik.

Utoljára 2011 márciusában láttam Károlyházy Fricit egy klubrendezvényen. A szünetben odamentem hozzá, bemutatkoztam, mire legnagyobb csodálkozásomra kiderült, hogy tudja, ki vagyok. Nem tagadhatom, hogy ez nagyon jól esett, hiszen korábban személyes kapcsolatunk nem volt, ám ő figyelemmel kísérte a fizikával kapcsolatos eseményeket és embereket. Jó negyedórát beszélgettünk, kiderítettük, hogy a közoktatás ügyében is, és egyéb ügyekben is hasonlóképpen látjuk a világ folyását.

Károlyházy Frigyesben évtizedekig a nehezen felfogható modern fizikai elméletek tényeit és értelmezését zseniálisan megvilágosító egyetemi tanárt, pedagógust, az *Igaz Varázslat* című könyv szerzőjét, számos fizikatanári ankét előadóját, évtizedekig az Eötvös-versenyek feladatszerkesztő és bíráló bizottságának tagját, a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* (*KöMaL*) munkatársát ismertem és tiszteltem. A fizikával foglalkozó magyarok között végzett amatőr közvélemény-kutatási eredményeim szerint Károlyházyra sokan emlékeznek, de hozzám hasonlóan tanári, pedagógusi, ismeretterjesztő munkáján túl kutatómunkájának eredményeit csak nagyon kevesen ismerik.

2012 tavaszán azonban elvállaltam a II. kerületi önkormányzat előtt kitüntetésének az előterjesztését és a „II. Kerületért” emlékérmet meg is ítélte neki az önkormányzat (azért nem a díszpolgári címet, mert *Bitskey Tibor* színész személyében szélesebb publicitásnak örvendő vetélytársa támadt). A kitüntetés átadásán 2012. június 21-én már nem tudott részt venni, azt fia vette át, ő pedig július 2-án meghalt, július 24-én eltemettük.

A kitüntetésre való előterjesztés elkészítése során kíváncsi lettem tudományos kutató munkássága egyéb adataira is. Könnyen kiderült, hogy Károlyházy Frigyes egy 1966-ban született cikkében [1] a relativitáselmélet és a kvantumelmélet kapcsolatáról mindenkinél korábban közölt alapvető „bizonytalansági relációt” a téridő ívhosszára vonatkozóan, és tett javaslatot a kvantummechanikai állapotfüggvény mérési eljárástól független redukciójára, összeomlására. A „Web of Science” adatbázis szerint erre az amerikai tanulmányút ideje alatt végiggondolt cikkre 1975 óta máig 200 hivatkozást kapott a nemzetközi szakmai irodalomban. Ugyanebben a témában továbbhaladva írta és védte meg „nagydoktori” dolgozatát [2] 1972-ben.

Amerikai tanulmányútja után történt, hogy *Richard Feynman* Magyarországra látogatott, az Eötvös Társulat látta vendégül. *Nagy Károly,* professzor az ELTE rektora és az elméleti fizika tanszék vezetője Károlyházyra, Amerikát járt munkatársára bízta a nagyhírű vendég kíséretét, hiszen az amerikai kiejtésű angol nyelvről a többieknek akkor kevés tapasztalata volt. Károlyházy beszélt a munkájáról Feynmannak, aki Nagy Károly szavai szerint úgy reagált, hogy a kvantumelmélet és az általános relativitáselmélet kapcsolatának kutatásába már sokkal jelentősebb tudósoknak is beletörött a bicskája, nem érdemes ezzel foglalkozni. Talán ez a találkozás is hozzájárult ahhoz, hogy ezután Károlyházy Frici nem törődött eléggé önmaga és alapvető mondanivalója népszerűsítésével, inkább az általános fizika korszerű oktatása és népszerűsítése terén vállalt missziós küldetést. Csoda, hogy 1966 után még 2 évtized kellett munkája jelentőségének felismeréséhez?

A fentebb említett cikkek, a *Nuovo Cimentó*ban és *Magyar Fizikai Folyóirat*ban megjelent közlemények az általános relativitáselméleti gravitáció és a kvantummechanika kapcsolatának kérdésében tesznek alapvető megállapításokat. Ez a kérdés csak két évtizeddel később, az 1980-as években jött „divatba”, az ebben a témakörben szervezett oxfordi nemzetközi konferencián Károlyházy társszerzőkkel, *Frenkel Andor*ral és *Lukács Bélá*val együtt bemutatta eredményeit. 1986-ban megjelent közleményük [3] nyomán indult el az 1966-os *Nuovo Cimento* cikkre való hivatkozások számának növekedése.

Jól ismert tény, hogy a gravitáló tömegek téridőt meggörbítő hatásának tárgyalására megalkotott általános relativitáselmélet a klasszikus fizika csúcsának minősíthető, a kísérleti adatokat nagy pontossággal reprodukáló, igen hatékony elmélet. Hasonlóan nagy hatékonysággal működik az atomi és szubatomi részecskéket és azok kölcsönhatásait tárgyaló kvantumelmélet. Az a baj, hogy a relativitáselmélet egzaktsága nem veszi figyelembe a hely és az impulzus (és más kanonikusan konjugált pár fizikai mennyiségek) heisenbergi bizonytalanságát, a kvantumelmélet pedig nincs tekintettel a gravitációs kölcsönhatásra, arra, hogy a téridőt a tömegek hogyan görbítik meg. A kérdés lényegét másként úgy is meg lehet fogalmazni, ahogy Károlyházy disszertációjának címe sugallja: hogyan kell elképzelni az átmenetet az atomi részecskék és a makroszkopikus tömegű testek kvantummechanikai kezelése között.

Két fontos mondanivalója és eredménye van Károlyházy 1966-os cikkének és 1972-es disszertációjának, ezen eredmények lényegét a *Fizikai Szemle* szeptemberi számában [4] Frenkel Andor kitűnően és lényegre törően foglalta össze.

Az egyik a relativisztikus téridő ívhosszának kvantummechanikai eredetű bizonytalanságát leíró képlet. Az angol nyelvű szakirodalomban meghonosodott a „Károlyházy uncertainty relation – Károlyházy bizonytalansági összefüggés” elnevezés, amelyet a Károlyházy eredményére hivatkozó cikkek megszokott természetességgel használnak. A bizonytalansági összefüggés megfogalmazása annyira kézenfekvő és követhető, hogy érdemes itt felidézni:

Időmérő szerkezetben legyen az óramutató tömege M, mozogjon v sebességgel, helybizonytalansága legyen Δx. A Heisenberg-reláció szerint: $\Delta x \Delta p \geq \hbar$. Az inerciarendszer téridő-koordinátái közül az időtengelyen tűzzünk ki egy $s = cT$ ívszakaszt, keressük annak Δs bizonytalanságát: $\Delta s = c\Delta T$. Ha az óra járása egyenletes, akkor

$$\Delta x = v \Delta T = \frac{v}{c} \Delta s.$$

Ebből

$$\Delta s = \frac{c}{v} \Delta x,$$

és az ívhossznak ez – a helybizonytalanságnál lényegesen nagyobb – bizonytalansága adja meg az óramutató legnagyobb lineáris l méretét is, hiszen a $\Delta s = c\Delta T$ méretnél távolabbi, a bizonytalansági időtartam alatt fénysebességgel sem elérhető tömegek már nem számítódhatnak a mutatóhoz.

A mutató energiájának bizonytalansága:

$$\Delta E_m = \Delta\left(\frac{m v^2}{2}\right) = v(m \Delta v) = v \Delta p.$$

Ebből a tömeg bizonytalansága:

$$\Delta M = \frac{\Delta E_m}{c^2} = \frac{v \Delta p}{c^2} \approx \frac{\frac{\hbar}{\Delta x} v}{c^2} \approx \frac{\hbar}{c \Delta s}.$$

Az óramutató tömege az általános relativitáselmélet szerint meggörbíti a téridőt. A Schwarzschild-megoldás:

$$ds'^2 = c^2\, dT'^2 \approx \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2\, dT^2$$

szerint a tömeg jelenléte nélkül elképzelt $s = cT$ ívhossz

$$s' = \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}\; cT \approx \left(1 - \frac{GM}{rc^2}\right) s$$

torzulást szenved az M tömegű óramutatóhoz közeli $r \approx l \approx \Delta s$ távolságra. A tömeg bizonytalansága s'-ben $\Delta s'$ bizonytalanságot okoz:

$$\Delta s' \approx \frac{G \Delta M}{c^2 \Delta s} s = \frac{G\hbar}{c^3 \Delta s^2} s.$$

Eszerint Δs növekedése csökkenti, csökkenése növeli $\Delta s'$-t, ezért az ívhossz bizonytalansága akkor lesz minimális, ha $\Delta s' \approx \Delta s$. Ekkor

$$\Delta s^3 \approx \frac{G\hbar}{c^3} s = \left(\Lambda_p\right)^2 s,$$

vagyis az ívelem bizonytalansága:

$$\Delta s \approx \left(\Lambda_p\right)^{2/3} s^{1/3},$$

ahol a Planck-hossz

$$\Lambda_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} = 1{,}69 \cdot 10^{-33}\ \text{cm}.$$

Az időtengelyen mért ívhosszból:

$$\Delta T = \frac{\Delta s}{c} \approx T_p^{2/3}\, T^{1/3},$$

ahol a Planck-idő:

$$T_p = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^5}} = 5{,}3 \cdot 10^{-44}\ \text{s}.$$

Aköznapi gyakorlatban megszokott 1 másodperc időtartam bizonytalansága: $\Delta T \approx 10^{-29}$ másodperc, ennél pontosabban elvileg nem lehet meghatározni – és így megmérni sem – a másodpercet. Az ívelem relatív bizonytalansága:

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \left(\frac{\Lambda_p}{s}\right)^{2/3},$$

az időmérés relatív bizonytalansága

$$\frac{\Delta T}{T} \approx \left(\frac{T_p}{T}\right)^{2/3}.$$

Mivel a relatív bizonytalanság az ívhossz vagy az időtartam kétharmadik hatványával fordítva arányos, érdekes következmény, hogy a téridőben minél nagyobb távolságot vagy időtartamot kívánunk megmérni, annál kisebb lesz a mérés kvantummechanikai és gravitációs eredetű relatív bizonytalansága. Példaként a Planck-idő relatív bizonytalansága a képlet szerint egységnyi, a Planck-időnél 44 nagyságrendnyivel nagyobb másodperc relatív bizonytalansága viszont 10^{-29} nagyságrendű. Érdemes megjegyezni, hogy a végső képletekben csak természeti állandók szerepelnek, a példában feltételezett óramutató tömege és sebessége kiestek, tehát ez a bizonytalanság magának a téridőnek a sajátsága.

Károlyházy másik lényegi mondanivalója annak előre jelzése, hogy a testek kvantummechanikai állapota szükségszerűen spontán redukciót szenved a tudatos emberi beavatkozást feltételező mérési folyamattól függetlenül. A téridő fentebb leírt bizonytalansága miatt egy részecske, vagy akár makroszkopikus méretű test kvantummechanikai állapotát leíró, a Schrödinger-egyenlet szerint térben szétterjedő hullámfüggvény relatív fázisaiban bizonytalanságok keletkeznek, a hullám koherenciája sérül. Amikor ez a bizonytalanság eléri a π értéket, vagyis beáll a relatív fázisok teljes határozatlansága, akkor a kvantummechanikai állapot egymáshoz képest inkoherens komponenseket tartalmaz. Ezt az inkoherenciát Károlyházy 1966-ban leírt javaslata szerint úgy lehet feloldani, hogy a vizsgált test állapotfüggvénye spontán módon, véletlenszerűen az egyik olyan komponensre redukálódik, amelyben a koherencia még nem veszett el. Ez a javaslat ellentétben áll a méréselmélet korábbi fogalmaival, nem igényli a mérést tudatosan tervező kísérletező ember beavatkozását.

A spontán redukció (*SR*) paraméterei mikrorészecskékre és makroszkopikus testekre lényegesen eltérnek egymástól [3, 4]: míg az elemi részecskék spontán redukciójának bekövetkezéséhez nem elegendő az Univerzum ismert térbeli mérete és időbeli élettartama, addig egy 1 grammos golyó tömegközépponti hullámfüggvénye mozgás közben másodpercenként százezerszer szenved redukciót 10^{-18} méternyi térbeli lokalizációval követve a makroszkopikus fogalmak szerinti pályáját. E kétféle mozgásforma között a tömeg függvényében lényegében folytonos az átmenet.

A hullámfüggvény tudatos méréstől független redukciójának lehetőségét több mint két évtizeddel Károlyházy után *Roger Penrose* [5], *Diósi Lajos* [6] és egy triesztі csoport [7] vetette fel. Roger Penrose 1989-ben született, magyarul legutóbb kiadott könyvében [5] pendítette meg a hullámfüggvény objektív redukciójának (*OR*) lehetőségét az időben meg nem fordítható kvantummechanikai jelenségek magyarázatára. A hullámfüggvény unitér (*U*) fejlődését leíró Schrödinger-egyenlet időszimmetrikus, a jövőből a múltba tartó időfüggvény ugyanúgy nyomon követhető, mint a múltból a jövő felé tartó időfüggvény. A mérés a hullámfüggvény szerint fejlődő szuperponált állapotok közötti választással, az állapot redukciójával jár, és a redukció (*R*) nem időszimmetrikus: a múltból visszafelé kvantummechanikai jellegű számítási módszer nem létezik, ilyen visszafelé jóslás nem működik. Konkrét idő-aszimmetrikus jelenség példájaként írja le Penrose egy félig áteresztő tükörre bocsátott foton esetét. Ha a fotont kibocsátó lámpa felvillan, a tükör mögött lévő detektor megszólalásának a valószínűsége 1/2, ha viszont a detektor megszólal, akkor biztosan felvillant a lámpa, nem 1/2, hanem 1 valószínűséggel.

Könyvében a méréstől, vagyis az emberi tudat által vezérelt megfigyeléstől független objektív redukciót az úgynevezett egy graviton szinthez kapcsolódó gravitációs téridő-görbülettel magyarázta. A graviton szint mértéke hozzávetőleg a Planck-tömeg századrésze: ~10^{-7} g (körülbelül 0,05 mm élű kocka víztartalmának tömege). Diósi részletesen kidolgozott, ugyancsak a gravitációs hatásra alapozott munkáját párhuzamba állítva Penrose egy legutóbbi cikkében [8] az objektív redukció (*OR*) Diósi–Penrose-modelljéről értekezik.

Penrose az említett könyvében veti fel azt az ötletét, hogy a tudatosság lehetséges kvantumelméletének alapvető eleme éppen az objektív redukció lehet. További munkáinak többsége ezzel, a tudatosság fizikai elméletének problémájával foglalkozik. Ez a témakör megérdemelne egy különálló ismertető cikket.

Végül érdemes áttekinteni a kapcsolatot és a különbséget a spontán redukció Károlyházytól származó, 1966-ban született elmélete és az objektív redukció Penrosetól származó, 1989-ben közölt elmélete között.

– A spontán redukciót (*SR*) a terjedő hullámfüggvény fázisainak inkoherenciája okozza, amely a téridőnek a newtoni gravitációs állandót is tartalmazó képlettel kifejezett saját belső bizonytalanságából ered. A spontán redukció bekövetkezését meghatározó mennyiségek a test méretével, tömegével folytonosan változnak.

– Az objektív redukciót (*OR*) is a gravitáció és a téridő kölcsönhatása okozza, a tömeggel rendelkező test hullámfüggvényében szétterjedő szuperponált részeinek gravitációs egymásra hatásából ered, és bekövetkezése küszöbértéket feltételez a gravitáció hatására létrejött téridő-görbület mértékében.

Károlyházy Frigyes 1966-ban elsőként mutatta ki, hogy az atomi és szubatomi részecskék köznapi józan ész számára szokatlan kvantummechanikai leírása a makroszkopikus testek viselkedésére is alkalmazható.

Ha a test hullámfüggvényének a gravitáció által kiváltott spontán redukcióit is figyelembe vesszük, akkor a méret és a tömeg függvényében folytonos átmenettel jutunk a kvantummechanikai és gravitációs hatás által kissé megzavart, klasszikus fizikai leírás szerinti mozgásformához. Károlyházy időbeli elsőbbsége, prioritása nyilvánvaló a kvantummechanikai állapotfüggvény méréstől, emberi tudattól független spontán redukciójának témakörében. Élete végéig folytatott kutató munkáját és gondolatait az utóbbi évtizedekben már csak szóbeli előadások során tárta villanásszerűen a hazai tudományos közvélemény egyre szűkebb, alkalmi érdeklődő körei elé.

Irodalom

1. F. Károlyházy: Gravitation and quantum mechanics of macroscopic objects. *Il Nuovo Cimento, XLII A/2* (1966) 390–402.
2. Károlyházy Frigyes: Gravitáció és a makroszkopikus testek kvantummechanikája. *Magyar Fizikai Folyóirat 12* (1974) 24–85.
3. F. Karolyhazy, A. Frenkel, B. Lukacs: *On the possible role of gravity on the reduction of the wave function in Quantum Concepts in Space and Time.* (szerk.: R. Penrose, C. J. Isham) Oxford Univ. Press, 1986.
4. Frenkel Andor: A kvantummechanika Károlyházy modellje. *Fizikai Szemle 62/9* (2012) 310–313.
5. Roger Penrose: *A császár új elméje.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011.
6. L. Diósi: Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations. *Phys. Rev. A 40* (1989) 1165–1174.
7. G. C. Ghirardi, A. Rimini, T. Weber: Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems. *Phys. Rev. D 34* (1986) 470–491; G. C. Ghirardi, R. Grassi, A. Rimini: Continuous-spontaneous reduction model involving gravity. *Phys. Rev. A 42* (1989) 1057–1064.
8. R. Penrose, S. Hameroff: Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory. *Journal of Cosmology 14* (211) in press.

EXOBOLYGÓK A FIZIKA ÉRETTSÉGIN – I. RÉSZ

Horváth Zsuzsa
Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest

Érdi Bálint
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Csillagászati Tanszék

A 2011. májusi fizika középszintű érettségi egyik választható feladata a Naprendszeren kívüli bolygókkal, exobolygókkal volt kapcsolatos. Tankönyveinkben még nem szerepelnek ezekkel foglalkozó ismeretek, hiszen az első ilyen égitest felfedezése óta 20 év sem telt el. Az exobolygó-kutatás napjaink sikeres, gyorsan fejlődő csillagászati területe. A jelenkori kutatások bemutatása tanulóinknak igen nehéz, ez alól az egyik kivétel az exobolygó-kutatás, hiszen eredményei könnyen közérthetővé tehetők, és mindenkit érdekelnek, ezért a hozzá kapcsolódó fizikai ismereteket is jobban megjegyzik diákjaink. Az érettségi feladathoz kapcsolódóan mutatjuk be az exobolygókat, a fontosabb megfigyelési módszereket, néhány kutatócsoportot és az űrtávcsöveket. Egy-két érdekesebb exobolygórendszert is megemlítünk.

Emlékeztetőül a 2011. májusi középszintű 3/A feladat szövege és ábrái [1]:

Az exobolygók (azaz a mi Naprendszerünkön kívüli bolygók) egy része olyan pályán kering a csillaga körül, hogy a Földről nézve áthalad a csillag előtt. Ilyen exobolygókat, különösen a nagyobbakat, fel lehet fedezni úgy, hogy a csillag fényességét folyamatosan mérve észleljük, amikor a bolygó áthalad előtte, ugyanis ilyenkor a bolygó részleges takarása miatt a mért fényesség lecsökken. Az első grafikon mutat egy tipikus mérési görbét, ahol a csillagfény intenzitásának százalékos csökkenése van feltüntetve.