

**A számítógép felhasználása a modern fizika BSc szintű  
oktatásában**

**Nagy Péter**

**Témavezető: Dr. Tasnádi Péter egyetemi tanár**

**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar**

**Fizika Doktori Iskola  
Vezető: Dr. Palla László**

**Fizika Tanítása Doktori Program  
Vezető: Dr. Tél Tamás**



**2013**

## **Bevezetés**

Általános tapasztalat, hogy a felsőoktatásban tanuló hallgatók természettudományos tudásszintje és motiváltsága is erőteljesen csökkent az utóbbi években. Ennek oka sokrétű: egyrészt a felsőoktatásba a korábbinál sokkal többen jutnak be, ugyanakkor a demográfiai csökkenésből eredően kevesebb a fiatal; így a bejutók számaránya a korosztály létszámához képest még nagyobb, másrészt a középiskolai oktatás színvonala kitapinthatóan visszaesett; végül nem elhanyagolható a természettudományoktól való elfordulás társadalmi szintű hatása sem. Így napjainkban a fizika tanítása új kihívás elé állítja a tanárokat a közoktatásban és a felsőoktatásban egyaránt.

A fizika tantárgynak a BSc szintű oktatásban – a kevés fizika szakostól eltekintve – a későbbi szakismereteket szolgáló alapozó szerepe van. Különösen érvényes ez a fizika modern fejezeteire, aminek nem annyira a konkrét gyakorlati alkalmazás, mint inkább a szemléletalakítás a feladata. A hallgatók többsége, a tárgyat nehezen érthetőnek és gyakran felesleges tehernek érzi, amin mihamarabb túl akar lenni. A hallgatók motiválása a BSc szintű fizikaoktatás eredményességének alapfeltétele, ami meggyőződésem szerint egyfajta paradigma-váltást kíván az oktatásban. A leíró-magyarozó módszerek helyett a szemléltetés-orientált tárgyalásmód teheti élvezetesebbé és sikerképesebbé a fizikaoktatást. Fokozottan érvényes ez a modern fizikára, ahol az alapfogalmak, az alkalmazott módszerek és az eredmények megértése sem egyszerű, hiszen ritkán kapcsolhatók közvetlen élményekhez, hétköznapi tapasztalatokhoz. Ez az oka annak is, hogy bár a közmédiákban gyakran van „hírértéke” a modern tudomány eredményeinek, mégis nehezen integrálhatók be általános tudásrendszerünkbe.

A BSc bevezető kurzusaiban kiemelt szerepük van/lehet a fizika tanításának módszertani kérdéseiben jártas oktatóknak, és az általuk kidolgozott korszerű oktatási anyagoknak. A fizika tanításával kapcsolatos kutatások talán legizgalmasabb része az a háttérmunka, ami a modern fizika egy-egy újabb területének elemi szintű kimunkálását jelenti. Ez, lényegét tekintve igazi kutatómunka: a megértetés és megértetés korszerű és hatékony módszereinek keresését jelenti, olyan módszereknek, amelyek megfelelnek a magas szintű szaktudományos igényeknek, hitelesen közvetítik a fizikát, de alkalmazzák a kognitív pszichológia és pedagógia legújabb eredményeit is. E munka során a pontos, szakterületi ismereteket olyan módon kell leegyszerűsíteni, hogy az a lényegét hatékonyan közvetítse, miközben a részleteket egységes szemléletformáló egységbe integrálja. Lényeges momentum az új, lehetőleg gyakorlatorientált témák beemelése az oktatásba, mivel ezek fokozhatják a hallgatók érdeklődését, tanulási motivációját és érzékeltethetik, hogy a fizika milyen mértékben tölt be meghatározó szerepet a mindennapi életben.

Kijelenthető, hogy a mai fiatalok életében a számítógép központi szerepet játszik, az oktatásban ezt a tényt figyelmen kívül hagyni stratégiai hiba. Meggyőződésem, hogy a fentiekben vázolt célok

elérése elsősorban a hallgatóság érdeklődését felkeltő, motivációját folyamatosan fenntartani képes, egyéni (otthoni) feldolgozásra is alkalmas elektronikus tananyagokkal lehetséges.

Szükséges tehát jól átgondolt, strukturált, felhasználóbarát és jó értelemben vett látványos (figyelmet megragadó) multimédiás tananyagok készítése. Kiemelendő, hogy az elektronikus tananyagok esetében új, lényegi mozzanatként jelenik meg az interaktivitás lehetősége és követelménye. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy az önmagában talán száraznak tűnő, leíró jellegű tananyagot dinamikussá, érdekessé és színesebbé tesszük a különféle multimédiás anyagok integrálásával: videók, hang-lejátszások, animációk, programok és szimulációk megfelelő arányú és strukturált beépítésével oly módon, hogy a felhasználó (tanuló) nem csupán passzív befogadóként, hanem a tanulási folyamatot aktívan befolyásoló szereplőként van jelen. Természetesen továbbra is a tartalom az elsődleges, a technikai, formai megvalósítás csupán a tartalom hatékonyabb közvetítését szolgálja. A választott módszer azonban csak akkor tölti be rendeltetését, ha lehetővé teszi új tudástartalmak elsajátítását, hatékony tanulásra ösztönöz, megszólít és motivál. Tapasztalatokon alapuló meggyőződésem szerint az elektronikus megvalósítás segít a figyelem felkeltésében és fenntartásában, valamint hozzájárul mind a jelenség szintű, mind a fogalmi megértéshez, és a szemléletet megalapozó bevésődéshez.

## **Célkitűzések, alkalmazott módszerek**

A BSc szintű oktatásban a modern fizika általában szűk tantárgyi (és óraszám) keretben jelenik meg. A szűk keretből következően elsődleges cél a szemléletformálás, a modern fizika legalapvetőbb fogalmainak és módszereinek megismertetése és legfontosabb eredményeinek bemutatása. Doktori munkám célja olyan új módszerek kidolgozása, amelyek a lehetőségek keretein belül eredményesen alkalmazhatók a modern fizika egyes témaköreinek lényegi megértésében.

Célkitűzéseim, illetve a megvalósítás eszközei a következőkben foglalhatók össze:

- a modern fizika szemlélet- és gondolkodásmódjának bemutatása új tudományos eredményekhez, illetve hétköznapi jelenségekhez kapcsolva, ezáltal a diákok érdeklődésének felkeltése. Ennek lényege, hogy konkrét problémához kapcsolva, elemi szintű tárgyalással vezetem be az alapvető fogalmakat, keresem a szemléltetés lehetőségeit és a modern fizika jellegzetes módszereinek egyszerű bemutatását.
- a modern fizika tanításának hatékonyabbá tételére interaktív, figyelemfelkeltő és barátságos elektronikus tananyagok kidolgozása, hogy a diákok aktív részvételével eredményesebb legyen a megértés és az ismeretek bevésődése.

- a tartalom fentiekben alapuló tárgyalásának, illetve a hozzá készített tananyagok hatékonyságának méréséhez számítógépes (on-line) teszt és értékelési szisztéma kidolgozása.

## **Tézisek**

1. A speciális relativitáselmélet tanításában hagyományosan szerepe van jelenségek Minkowski-diagramon történő ábrázolásának. Az elterjedt gyakorlatban a grafikus ábrázolás a jelenségek kvalitatív szemléltetésével segíti a megértést. A Minkowski-ábrázoláson alapuló kvantitatív problémamegoldást azonban nagymértékben nehezíti a téridő hiperbolikus geometriájából eredő mérték-torzulás. Mivel az alapul választott vonatkoztatási rendszerhez képest a mozgó vonatkoztatási rendszer koordináta-tengelyeinek irányát és léptékét hiperbola jelöli ki, a számszerű információt szolgáltató rajz elkészítése nem egyszerű. Módszert dolgoztam ki a Minkowski-ábrázoláson alapuló egyszerű, kvantitatív problémamegoldásra. A Minkowski-geometria és az Euklidészi-geometria invariáns skalárjainak összeegyeztetésével „skálafaktort” származtattam, amellyel megadható a lépték torzulása. Ezzel a skálázással olyan Minkowski-diagramot készítettem, amelyről a feladatok megoldása egyszerű párhuzamos vetítésekkel (vonalzók segítségével) leolvasható.

A módszer lényegét úgy is fogalmazhatjuk, hogy a Minkowski-diagram szerkezetébe „bele van kódolva” a Lorentz-transzformáció és ezen keresztül minden abból származtatható összefüggés, így a Minkowski-diagram alkalmas speciális relativitáselméleti problémák nem csupán kvalitatív, de kvantitatív (numerikus) tárgyalására, megoldására is.

A speciális relativitáselmélet problémáinak ez a megközelítése didaktikai szempontból kettős haszonnal jár: egyfelől megkönnyíti a speciális relativitáselmélet megértését, másfelől minden problémát két teljesen eltérő módon oldhatunk meg (képletekkel, illetve szerkesztéssel), ami a diákok tanulási folyamatában különösen fontos önmegerősítés lehetőségét nyújtja. A diákok érdeklődésének felkeltése, figyelmük megragadása érdekében olyan példákat konstruáltam, amelyek életkorukhoz, olvasmányélményeikhez igazodnak.

Kontrollcsoportos statisztikai elemzés alapján kimutattam a grafikus módszer didaktikai hatékonyságát.

2. A kaotikus rendszerek vizsgálata az egyik legfontosabb és legismertebb példája a számítógépes kísérleti fizikának. A káosz jelenségköre kiemelt szemléletformáló erővel bír mind a

modern fizika oktatásában, mind a klasszikus fizika eredményeinek mélyebb értelmezésében. A káoszelméletet feldolgozó hatékony és korszerű tananyagot felhasználóbarát szimulációs programra kell alapozni, hogy a diákok lehetőleg mindent saját maguk tapasztalhassanak meg, és a szó legnemesebb értelmében „játszva” tanulhassanak.

**2.A.** A káoszelmélet BSc-szintű oktatása során tárgyalt mintapéldák bemutatására szolgáló szimulációs programokat az ingyenesen letölthető *Dynamics Solver* programozási környezetben valósítottam meg. A Dynamics Solver program kiérlelt és egyszerűen kezelhető környezetet ad a munkához, letöltése és telepítése után a gyűjteményben található szimulációk egyszerű duplakattintással közvetlenül futtathatók. Az elkészített gyűjtemény több mint harminc szimulációt tartalmaz.

Tapasztalataim szerint a diákok tanulási motivációját jelentősen erősíti az általuk személyesen kipróbálható, paraméterezhető szimulációs programokkal való kísérletezés.

**2.B.** Az úgynevezett Zeeman-féle katasztrófagép eredetileg nemlineáris rendszerek statikus viselkedésének modellezésére készült. Dolgozatomban megmutatom, hogy a Zeeman-gép dinamikai viselkedése rendkívül értékes példákkal szolgál a kaotikus rendszerek tulajdonságainak tárgyalása során. Megmutattam, hogy a periodikusan gerjesztett gép a disszipatív kaotikus rendszerek ideális mintapéldája: minden lényegi vonás, jellemző, kiválóan illusztrálható vele, továbbá olyan izgalmas kérdéskörök is egyszerűen tanulmányozhatók segítségével, mint a bifurkáció jelensége, a spontán szimmetriasértés és a fázisátalakulás. Megfelelő kezdeti feltételekkel magára hagyott géppel a tranzienst káosz is szemléltethető. Váratlan statisztikus fizikai távlatok nyíltak azzal, hogy két súrlódásmentes Zeeman-gép összekapcsolásával a konzervatív rendszerekben kialakuló kaotikus mozgás is tanulmányozható.

**3.** A kvantumelmélet a természettudományok szinte minden területének egyik sarokköve, korunk technikája is jelentős mértékben épül rá, mégis sokszor úgy tűnik, hogy alapvető ismerete is csak egy szűk fizikus-mérnök réteg belügye. A társadalmi szintű értetlenséget magyarázza az, hogy a modern, érzékeny műszerekkel feltárt világ ellentmond az ösztönös, „velünk született” szemléletnek, a modern fizika tanításának mégis az a célja, hogy elfogadtassa e „szemléletellenes” valóságot is. A bevezető modern fizika kurzusok kiemelt feladata a kvantumelmélet alapvető szemléleti elemeinek, leglényegesebb fogalmainak és módszereinek, valamint jelenünket és közeljövönket meghatározó legfontosabb alkalmazásoknak megismertetése. A mikrovilág azon jelenségei, amelyeknek nincs klasszikus megfelelője „egzotikus” különlegességüknél fogva alkalmasak a kvantumeffektusok iránti érdeklődés felkeltésére.

**3.A.** Tananyagot dolgoztam ki a kvantumjelenségek legfontosabb jellemzőinek tanítására. A kvantumelméleti gondolkodásmódot egy konkrét, igen érdekes, izgalmas kvantumeffektus az úgynevezett „kölcsonhatás-mentes mérés” jelenségének részletes bemutatásával igyekszem „emberközbe hozni”. A pontos tárgyaláshoz szükséges (az eredeti szaktudományos cikkekétől eltérő, leegyszerűsített, de fizikailag korrekt) reprezentációt úgy választottam meg, hogy elemi matematikai tudással érthető legyen. (A komplex számok ismereténél és  $2 \times 2$ -es mátrixok szorzásánál erősebb matematikai apparátus nem szükséges, így a BSc-szintű fizikaoktatás alapkurzusaiban résztvevő hallgatók számára is követhető.)

**3.B.** Néhány tanév során a Kecskeméti Főiskola műszaki informatikus szakán párhuzamosan tanítottam modern fizikát és információelméletet. Ekkor irányult figyelmem az új diszciplínának számító kvantuminformatika felé, amelyet alapfokú bevezetés szintjén (Magyarországon a legelső között) beépítettem az oktatási tananyagba.

Tananyagot dolgoztam ki a kvantuminformatika elméleti összefoglalására. A tananyagba fontos aktív elemként illesztettem be az úgynevezett „jaQuzzi kvantumhálózat-szimulátor” használatát, amellyel a diákok tetszőleges kvantumalgoritmus működését önmaguk próbálhatják ki. Ezzel a kvantuminformatika tanulása élményszerűvé és könnyebbé vált.

**4.A.** A statisztikus fizika fogalmai és módszerei mind matematikai apparátusukban, mind szemléletükben idegenek, nehezen érthetőek a BSc szintű fizika kurzusokon résztvevő hallgatók számára. Jelentős módszertani kihívás, hogy ezeket a fogalmakat érdekes hétköznapi jelenségekhez kapcsolva tárgyaljuk. A szerencsejátékok például nagyszerű lehetőséget kínálnak erre, hiszen izgalmasak és részei mindennapi életünknek.

Tananyagot dolgoztam ki a statisztikus fizika alapfogalmainak és szemléletmódjának tanítására. A közismert szerencsekerék tárgyalásán keresztül mutatom be, hogy a működés során, illetve a korrekt tervezésében miként jelennek meg a statisztikus fizika eszközei, azáltal, hogy a fizika entrópia mennyiségét azonosítom a játék „érdekességének” nehezen definiálható, de nagyon is valóban érzékelhető fogalmával.

A sztochasztikus folyamatok fontos példája és a hallgatók körében az egyik legnagyobb érdeklődést keltő új tantárgyi elem az ún. Parrando-paradoxon kérdésköre. A Parrando-paradoxon igen friss eredmény és nagyon széles interdiszciplináris jelentőséggel bír. Ezt a témakört egy didaktikusan felépített anyagban részletesen bemutatom, mert bár a nemzetközi szakirodalomban a paradoxon következményei és alkalmazásai ismertek, de tananyagba illesztéséről nem tudok, hazánkban pedig mind a kutatásban, mind az oktatásban újdonságnak számítanak.

**4.B.** A statisztikus fizika oktatásában interdiszciplináris jellegükből és széleskörű alkalmazási lehetőségeikből eredően, kiemelt fontosságúak a komplex rendszerek. Az általam bevezetett úgynevezett Zeeman-kristály modell több szempontból fontos adottsággal bír: egyrészt sok más teljesen heurisztikus indíttatású modellel szemben valós, mechanikai megalapozással rendelkezik, így könnyebben interpretálható a diákok számára; másrészt a komplex rendszerek minden lényegi tulajdonsága (pl. fázisátalakulás, hiszterézis, térbeli mintázatok kialakulása, stb.) tárgyalható benne. A kristály igen széles modellosztályt alkot, amely speciális esetként tartalmazza a klasszikus (chiral) Potts-modellt. A modell konkrét szimulációs megvalósítása NetLogo környezetben történt, amely eszközt ad a diákok kezébe egyfajta új értelemben vett számítógépes kísérleti fizika megismerésére, megélésére.

**5.** Az első négy tézisben a modern fizika egyes területeinek (rendre a relativitáselmélet, káoszelmélet, kvantumelmélet és statisztikus fizika) néhány témakörében általam kidolgozott, valamilyen értelemben újszerű tartalmi elemek jelentek meg: vagy egy már jól ismert, „bevett” ismeretanyag újszerű megközelítése (pl. a Minkowski-diagram skálaparaméteres használata, illetve a nemlineáris rendszerek egyensúlyi viselkedésének illusztrálásaként jól ismert Zeeman-féle katasztrófagép dinamikai megközelítése a kaotikus jellemzők bemutatásához és komplex rendszerek szimulációjához), vagy valamely nagyon friss, kronológiailag új tudományos eredmény didaktikailag átgondolt tananyagba illesztése (pl. Parrondo-paradoxon, vagy kölcsönhatás-mentes mérés).

Jelen tézis tárgya a fenti tartalmi elemek interaktív számítógépes megvalósítása. Munkám egyik legfontosabb gyakorlati eredményének tekintem az általam készített és a dolgozatban bemutatott elektronikus tananyagokat. Terjedelmét tekintve a tézishez tartozó fejezet annak ellenére dolgozatom legrövidebb része, hogy összehasonlítva a dolgozat többi fejezeteivel, az itt megjelenő elektronikus anyagok elkészítésébe kellett a legtöbb munkát befektetnem, és ezek a legközvetlenebb didaktikai hasznosságú és értékű munkáim. A létrehozott tananyagok közös lényegi jellemzője a didaktikusan felépített, önálló feldolgozást segítő, a hallgatót lépésről-lépésre végigvezető nagyon felhasználóbarát szerkezet. A didaktikai célt a diákok érdeklődésének, motivációjának fenntartását és a mély megértés elősegítését az elektronikus jelleg lehetőségeit kihasználva minden tananyagban sokféle médiaelem (képek, videók és szimulációk) beépítésével valamint az interaktivitás alkalmazásával kívántam elérni.

**6.** A tananyag-fejlesztési munka elengedhetetlen feltétele az új szakanyagok, illetve módszerek eredményességének vizsgálata. A tananyag-feldolgozásának hatékonyságának megítélésére a

szubjektív tanári benyomások nem elegendők, a diákok tárgyi ismeretei, és a tanultak alkalmazásának kompetenciája, átgondolt szempontrendszer szerint összeállított, pedagógiai mérésekkel vizsgálható, amelyek során a diákok teljesítménye objektív, statisztikai módszerekkel értékelhető. Alapkövetelmény, hogy a mérés tartalmi és technikai szempontból egyaránt összhangban álljon a tananyaggal és az oktatási módszerekkel.

Az alkalmazott számítógépes módszerekhez szervesen illeszthető elektronikus – ellenőrző, illetve önellenőrző – (javascript forrású) tesztprogramot készítettem, amely (php forrású szerveroldali) adattovábbító rutinnal kiegészítve online is használható globális adatbázis létrehozására. A program alapváltozata során fontos szempontnak tekintetem, hogy könnyen adaptálható legyen és segítségével az elemi számítógépes ismeretekkel rendelkező tesztkészítő felhasználók tetszőleges tartalmú és formai megjelenésű tesztprogramot készíthessenek, amelyet akár offline, akár online módon is futtathatnak. A kifejlesztett elektronikus teszt-program egy közel 400 fős középiskolai országos felmérésben is jól használhatónak bizonyult. A statisztikai elemzések alapján fontos és érdekes következtetésekre jutottunk a középiskolás diákok energiával kapcsolatos tudásrendszerére vonatkozóan, az eredményeket publikáltuk.

## **Következtetések, az eredmények hasznosítása**

Doktori munkám eredményeit főiskolai oktatómunkámban folyamatosan használom. A számítógép bekapcsolása az oktatásba eddig nem létező lehetőségeket kínál mind a szemléltetés (beleértve a numerikus módszerek, szimulációk interaktív alkalmazását is), mind a tudásszint folyamatos ellenőrzése területén.

Munkám ennek megfelelően széles spektrumú, a szaktudományban is használható modellektől a tanulói tudás méréséig húzódik. Fontosnak tartom, hogy e kutató-fejlesztő munka során a fizika tanítás didaktikájára, mint jellegzetesen interdiszciplináris alkalmazott tudományra tekintsünk. Alapját a szaktudományi eredmények jelentik, ezek interpretációját, a célcsoport életkori sajátosságaihoz, érdeklődéséhez, felkészültségéhez alkalmazkodva a pedagógia-pszichológia útmutatásai jelentik. Jelen munkában a Minkowski diagram és a Zeemann gépre alapozott modellek olyan didaktikai eszközöket jelentenek, amelyeknek szaktudományi leírása eddig nem létezett. Az elektronikus tananyagok nagy része összeállításában és felépítésében jelent új megoldást. A kidolgozott tananyagok hatékonyságának vizsgálatára kifejlesztett számítógépes teszt program megfelel a korszerű pedagógiai mérés követelményeinek. A tesztprogram a megfelelő tartalom betöltése után a közép és felsőfokú oktatásban egyaránt hatékonyan alkalmazható.



Munkáimat hazai és nemzetközi folyóiratokban ismerttettem és szakmai konferenciákon mutattam be. Az ezek során tapasztalt érdeklődés és a visszajelzések jelzik, hogy a tananyagfejlesztésnek ez az útja előrelépést jelenthet a természettudományok tanításában.

Fontosnak tartom, hogy a felsőoktatás szakmódszertani fejlesztése hasznosítható legyen a közoktatásban és a tudományos ismeretterjesztésben is. A doktori dolgozatomban bemutatott szakanyagok, a tudomány népszerűsítésében is eredményesen használhatók. A tudomány széleskörű népszerűsítését oktatói munkám fontos kiegészítőjének tartom. Az informatika a tudományos ismeretterjesztésben is új lehetőségeket kínál. A klasszikus előadási forma mellett egyre fontosabb szerepe van az interneten keresztül történő ismeretterjesztésnek is. Ilyen irányú munkámat mutatja a Kecskeméten „Varázsterem-projekt” néven TÁMOP forrásból működő program <http://csodafizika.hu/varazsterem> internetcímen elérhető honlapja. A honlapon megtalálható a doktori munkámban főiskolai tananyagként bemutatott *kvantuminformatika* vagy a *Parrondo-paradoxon* ismeretterjesztő szintű tárgyalása is.

A fizika népszerűsítését szolgálja a 2012-ben a <http://fizikaland.blog.hu> címen általam indított blog, ahol az olvasó maga is bekapcsolódhat a problémák megvitatásába.

Munkám során a főiskolai kurzustól a tudományt népszerűsítő előadásig széles skálán dolgoztam ki tartalmában és módszereiben is új elektronikus tananyagokat. Minden esetben a megértés elősegítése és a tanulói motiváció fenntartása vezetett, tanítványaim visszajelzései megerősítettek abban, hogy a választott út helyes és továbbra is érdemes ebben az irányban dolgoznom.

## **Tézisek alapjául szolgáló publikációk**

### *Idegen nyelvű folyóirat*

[P1] Nagy, P., Tasnádi, P.: Projectile solutions on Minkowski diagram, *Il Nuovo Cimento (associated Journal to European Physical Journal)*, Vol. 33. C, N. 3., pp. 157-161, Societa Italiana di Fisica, 2010. (impact factor: 0,140)

[P2] Nagy, P., Tasnádi, P.: The chaotic properties and complex behaviour of Zeeman's catastrophe machine, *European Journal of Physics*, 2013. (impact factor: 0,823) (beküldve, bírálat alatt)

### *Idegen nyelvű konferencia kiadványok*

[P3] Nagy, P., Tasnádi, P.: An interactive computer-based material for random-walk phenomena, , *Proceeding book of the Joint International Conference Multimedia in Physic Teaching and*

*Learning and Conference Hands on Science 2011*, pp. 334.-338., University of Ljubljana, Slovenia, 2012. (ISBN 978-961-269-637-5)

[P4] Nagy, P., Tasnádi, P.: Paradoxial quantum effects as motivating tools for introductory quantum mechanical course, *Proceeding book of the Joint International Conference Multimedia in Physics Teaching and Learning and Conference Hands on Science 2011*, pp. 327.-333., University of Ljubljana, Slovenia, 2012. (ISBN 978-961-269-637-5)

[P5] Nagy, P., Tasnádi, P.: Projectile solutions on Minkowski diagram, *Multimedia in Physics Teaching and Learning( Selected Papers Book of 14th International Workshop and Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning)*, European Physical Society, University of Udine, Udine, 2009.

[P6] Nagy, P., Tasnádi, P.: Fortune wheel as a tool for illustration the basic principles of statistical physics, *Web of 14th International Workshop and Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning*, European Physical Society, University of Udine, Udine, 2009.

#### *Magyar nyelvű folyóiratok*

[P7] Nagy P., Tasnádi P.: Parrondo paradoxon – avagy a kevert stratégiák csodája, *Fizikai Szemle 2013./2.*, pp 37-42, Budapest, 2013. (HU ISSN 0015-3257).

[P8] Nagy P.: Kvantumalgoritmusok kvantumhálózatokon – teleportáció megvalósítása szimulátoron, *GAMF Közleményei 2009 (XXII. évfolyam)*, pp. 97.-108., Kecskemét, 2009. (HU ISSN 1587-4400).

[P9] Nagy P.: Fortune wheel – an application of statistical physics, *GAMF Közleményei 2008*, pp. 71.-76., Kecskemét, 2008. (HU ISSN 1587-4400).

[P10] Nagy P.: Kvantitatív problémamegoldás Minkowski-diagramon, *Fizikai Szemle 2006./1.*, pp 19-22, Budapest, 2006. (HU ISSN 0015-3257).

#### *Magyar nyelvű konferencia kiadványok*

[P11] Nagy P., Tasnádi P.: Parrondo paradoxon, *AGTEDU '2012. Kiadvány.*, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 2013. (ISSN: 1586-846x)

[P12] Juhász A., Nagy P.: Mit tudnak a középiskolások az energiáról? – Egy felmérés eredményei, *Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan Nemzetközi Konferencia*, pp. 354.-364., ELTE, Budapest, 2011. (ISBN 978-963-284-224-0)

[P13] Nagy P.: Interaktív számítógépes anyagok a BSc. fizikaoktatásban, *Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen Nemzetközi Szeminárium Konferenciakötete*, pp. 325.-332., ELTE, Budapest, 2010. (ISBN: 978-963-284-150-2)

[P14] Nagy P.: Kvantumalgoritmusok és kvantumhálózatok, *AGTEDU '2009. Kiadvány*, pp. 505.-510., Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 2009. (ISBN: 978-963-7294-77-8)