

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei  
Abstract of PhD dissertation

## **Új fizikai ismeretek bevezetése az oktatásba**

## **Introducing modern physics in public education**

**Horváth Árpád**

Témavezető/supervisor: Dr. Trócsányi Zoltán



Debreceni Egyetem  
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája  
Debrecen, 2013

University of Debrecen  
PhD School in Physics  
Debrecen, 2013



# Bevezetés

A fizika két olyan területének tanításával és vizsgálatával foglalkoztam, amelyekben az utóbbi két évtizedben jelentős új eredmények születtek. Az egyik a részecskefizika világa, amely az anyag tovább nem bontható alkotórészeinek keresésével és azok kölcsönhatásainak a vizsgálatával foglalkozik. A másik a hálózatok világa, amely sok hasonló alkotóelemből álló hálózatok fejlődésének és viselkedésének tanulmányozásáról szól.

A részecskefizika kutatói komoly matematikai háttérrel rendelkező modelleket dolgoztak ki, közöttük a részecskefizika standard modelljét valamint a szuperszimmetriát illetve a gravitációt is magukban foglaló elméleteket. A standard modell számos kísérleti eredményt nagy pontossággal leír, egyik hátránya, hogy számos paraméterrel rendelkezik, amelyek értékére nem ad magyarázatot. Ilyen paraméterek többek között a kölcsönhatások csatolásának értékei.

A részecskefizikai kutatásokat a sok kutatót egyesítő nagyon összetett detektorokat használó kísérletek uralják. Mikor a doktori képzésbe bekapcsolódtam, a standard modellben szereplő részecskéket a Higgs-bozon kivételével felfedezték, a CERN Nagy elektron–pozitron ütköztető gyűrűjének (LEP-nek) kísérletei megmutatták, hogy a részecskének három családja van, és a neutrínóoszilláció léte is igazolásra került, a CERN-ben a Nagy hadronütköztető gyűrű (LHC) összeszerelése folyt. Ebben az időszakban, 2005-ben, indította útjára a CERN által szervezett Európai (pár éve Nemzetközi) Részecskefizikai Ismeretterjesztő Csoport a részecskefizikai diákműhelyeket, amelyek során a részecskefizikával, a CERN-nel és a CERN detektoraiban lezajlott események vizsgálatával ismertetik meg a középiskolás diákokat. Ezek a mérések eleinte a LEP, 2011 óta pedig az LHC detektorainak adataival történnek. Minden nap végén négy-öt helyszínt kapcsolódik össze videokonferencián, hogy a diákok a mért adatokat összevegyék, a kapott eredményt értelmezzék, és a CERN-i fizikusoknak feltegyék az őket érdeklő kérdéseiket.

A részecskefizika területén a célom az volt, hogy bekapcsolódjam a

részecskefizika diákműhelyekbe, ennek segítségével meg tudjam mutatni középiskolás diákok számára, hogyan működnek a részecskefizikai kutatások, és általában hogyan működik a tudományos kutatás. Célom volt az is, hogy bővítssem azoknak a jól rendszerezett magyar nyelvű segédanyagoknak a körét, amelyek segítik a felkészülést a diákműhelyre, az ott elsajátított dolgokat kiegészítik, és általában lehetővé teszik az elmélyülést a részecskefizikában a középiskolás diákok számára.

A másik terület amellyel foglalkoztam az összetett hálózatoké. Ezek olyan összetett rendszerek, amelyek rengeteg hasonló egyedből (például személyekből, internetes útválasztókból, weboldalakból, fehérjékből, idegsejtekből) épülnek fel úgy, hogy bizonyos egyedpárok között kapcsolat van valamilyen szempont szerint, más párok között pedig nincs. Gyakran az összetett viselkedést nem ezeknek a dolgoknak az összetettsége okozza, hanem az, hogy a köztük lévő kapcsolatok hogyan oszlanak el. Az ezredforduló adta meg azt a lehetőséget, hogy számos nagy méretű hálózatot feltérképezhessünk és tanulmányozhassunk. A tanulmányozott hálózatok között találhatók biológiai, információs, szociológiai és technikai hálózatok is. Ezek a hálózatok általában megegyeznek abban, hogy skálafüggetlenek, azaz a fokszámeloszlás negatív kitevős hatványfüggvényhez közeli, amit nem csak az átlagos foksám jellemez, hanem az is, hogy a rengeteg átlagosnál kisebb foksámú csúcs mellett néhány átlagosnál nagyságrendekkel nagyobb foksámú csúcs is jelen van. A hálózatok elméletének gyakorlati alkalmazására is számos példát lehet már hozni a járványok terjedésének előrejelzésétől a védőoltások alanyainak kiválasztásán, az internetes protokollok tervezésén, a szervezetbeli fehérjék szerepének meghatározásán és a telefontarifák kialakításán keresztül a politikai választások során egy párt szavazóinak mozgósításáig.

Olyan programcsomag kialakítását tűztem ki célul, amely informatikus és villamosmérnök hallgatók számára alkalmas hálózatok vizsgálata mellett hálózatokkal kapcsolatos algoritmusok implementálására is, nem csak TDK- vagy szakdolgozat, hanem egy tantárgy keretében is. Ennek részeként olyan hálózatok vizsgálatát tűztem ki célul, amelyek órán előállíthatók, és amelyek tulajdonságai mellett a változások tör-

vényszerűségei is felderíthetőek. További célom volt, hogy olyan egyetemi tananyagot dolgozzak ki, amelyben nem csak a hálózatok elméletét ismerik meg a hallgatók, hanem a kifejlesztett programcsomag használatával képesek legyenek hálózatok tulajdonságait megvizsgálni, és a kapott eredményekből következtetéseket levonni a hálózat felépítéséről és működéséről. A tananyaggal célom volt az is, hogy a hallgatók képesek legyenek új problémák megoldására programot fejleszteni.

Ha hálózatokon zajló folyamatokat (például fertőzésterjedést) vizsgálunk, vagy a hálózat működésének változását bizonyos hatások (például véletlen meghibásodások vagy célzott támadás) hatására, gyakran szükséges, hogy megvizsgáljuk, hogyan befolyásolják ezeket a hálózatok különböző jellemzői. Ezért terveztem olyan hálózatgeneráló program létrehozását, amely illeszkedik az előbb említett programcsomaghoz, és képes adott tulajdonságcsoporthal rendelkező hálózatok létrehozására.

## Új tudományos eredmények

A tudományos munkám során kapott tudományos eredményeket az alábbi tézispontokban foglalom össze.

1. Létrehoztam a Hands on CERN honlap magyar változatát, magyar feliratú ábrákat is készítettem hozzá, kibővítettem a részecskefizika területén szerzett Nobel-díjak táblázatával és leírásával, illetve a téma diákoknak szánt irodalmával. Kidolgoztam továbbá olyan mérést is, amellyel a honlapon mérhető elágazási arányokból az elemi részecskék családjainak számát számolhatják ki a hallgatók. Ezt a honlapot a nemzetközi részecskefizikai diákműhelyeken felhasználtuk.

Jelentősen bővítettem a Wikipedia magyar oldalát részecskefizikai, fizikatörténeti témákkal, fizikusok életével, egyetemekkel és kutatóintézetekkel kapcsolatos oldalakkal, a fizika portállal, összetett hálózatokkal kapcsolatos szócikkekkel, valamint ábrákkal. Ezek

az oldalak máig látogatottak. Részt vettem a fizikához tartozó szócikk-kategóriák kialakításában is.

2. A székesfehérvári helyszínen én szervezem a nemzetközi részecskefizikai diákműhely eseményeit 2005 óta minden tavasszal, én tartom a bevezető előadásokat és én végzem a mérés irányítását is. A 2005-ös részecskefizikai diákműhelyen a diákokkal kérdőívet töltettünk ki. Feldolgoztam a székesfehérvári és a debreceni helyszín válaszait, és arra következtettem, hogy a diákműhely érdekli a diákokat, új ismerettel gazdagodnak a nap során, és a végén jobban érdekli őket a fizika, mint előtte.

3. Létrehoztam a cxnet hálózatvizsgáló programcsomagot, amely az igrph lehetőségeit terjeszti ki többek között azzal, hogy az Ubuntu és Debian rendszerek alatt képes rövid idő alatt létrehozni a tárolókban található szoftvercsomagok függőségi hálózatát, valamint képes hálózatok fokszámeloszlását ábrázolni különböző módokon: különböző binelési módszerekkel és összegzett fokszámeloszlásként is.

Tananyagot dolgoztam ki az Összetett hálózatok vizsgálata című, számítógépes laborban tartott kurzushoz alapképzésbeli mérnök informatikus szakos hallgatóknak. A tárgy keretében hallgatóim megismerkedtek az összetett hálózatok fontosabb jellemzőivel és modelljeivel, valamint megtanultak önállóan programokat írni a cxnet és igrph programcsomagok felhasználásával különböző összetett hálózatokkal kapcsolatos feladatok megoldására.

4. Részletesen elemeztem a szoftvercsomag-hálózat tulajdonságait. Megállapítottam, hogy ez a hálózat skálafüggetlen, a fejlődésében szerepet játszik a népszerűségi kapcsolódás, hierarchikus és nagy csoportterösségi együtthatóval rendelkezik.

Az általam feltérképezett és más forrásból elérhető hálózatokat felhasználtam a munkahelyem által szervezett Alba Regia Informatika Verseny adatbázissal kapcsolatos feladatainak létrehozásához is. Ezeket a feladatokat a felkészültebb diákok sikeresen

oldották meg.

5. Python programnyelven elsőként valósítottam meg a multifrak-tálokon alapuló hálózatgeneráló algoritmust (MFNG). Adott átlagfokszámú, majd adott fokszámeloszlású hálózatok előállítását céloztam meg az programmal, amelyeket sikeresen közelített meg a szoftver. A Python programnyelven írt program futásának döntő részét kitevő számításokat átírtuk C++ nyelvre, amivel a futásidőt jelentősen csökkentettük.

# Introduction

In my dissertation I discussed means of introducing two fields of modern physics into public education. One is particle physics that deals with the basic ingredients of matter and their interactions. The other is the science of complex networks that studies the properties of networks consisting of very large number similar entities. In these two fields the last two decades resulted in important discoveries.

Researchers in particle physics have worked out models with high level mathematical background, including the Standard Model of the particle physics, and some others which include supersymmetry and gravity. The Standard Model describes a lot of experimental results with high precision, but it has a disadvantage, that it has too many parameters, whose value cannot be explained by the model. For instance, such parameters are the values of the couplings.

The research of particle physics is dominated by experiments using very complex detectors and including many researchers. When I started my PhD studies, all particles of the Standard Model but the Higgs boson had been discovered, the experiments of the Large Electron Positron Collider (LEP) had revealed that the particles exist in three generations, neutrino oscillation had been verified, and the construction of the Large Hadron Collider (LHC) was in progress. At this time, in 2005, the International Physics Masterclasses were launched by the International Particle Physics Outreach Group. In these masterclasses high school students can get acquainted with particle physics, the CERN laboratory and analyses of the events collected by the detectors of CERN. These measurements were carried out with the data of the detectors of LEP, but from 2011 with those of the LHC. Each masterclass day ends with a video conference for the students to compare and interpret their results, and to ask the researchers at CERN the questions they are interested in.

In the field of the particle physics my aim was to be involved in the particle physics masterclasses, and to show to high school students how the research works in the field on particle physics and in science in general. Another aim was to prepare Hungarian teaching materials, that

allows for the students to understand particle physics deeper.

Another field, I dealt with, was the field of complex networks. Complex networks are large systems that include many similar entities (persons, routers, web pages, protein or neural cells for example), and some pairs of entities are connected in some sense others not. Usually the complex behaviour of these networks is caused by the distribution of the connections, not by the complexity of the entities themselves. By the turn of the century technical developments gave us the possibility to create the map of many large networks and to study them. The studied networks include biological, sociological, technological and informatics networks. These networks are similar in the sense, that they are scale-free, meaning that their degree distribution is approximately a power-law function with a negative exponent. A scale-free network can be characterized not only by its average degree, but also with the property, that it has some vertices with degrees much larger than the average, and a lot of vertices with degrees smaller than the average. There are several daily applications of networks such as forecast of epidemic spreading, the optimal selection of persons we need to immunize to halt the epidemic, the design of internet protocols, the determination of the roles of proteins, the optimal choice of telephone tariffs and the mobilization of the electors of a party at an election.

I aimed at creating a program package, that university students can use to investigate networks not only in scientific student work or in a thesis but in a course as well. As part of this I planned to study networks that can be created during the semester, and whose dynamical laws can be studied as well. My other aim was to create a curriculum, which gives the possibility not only to learn the theory of networks, but to study the properties of networks, to deduce some information about the properties of those networks, and to write programs to solve new problems.

If we investigate processes (e.g. disease spreading) on networks, or the change of the network operations as a consequence of some impact (e.g. random failure or attack), we usually need to study, how the properties of the networks influence these phenomena. Therefore I planned to write a network generator program that suits the program package ment-

ioned earlier and is able to create networks with given property groups.

## **New scientific results**

1. I created a Hungarian version of the Hands on CERN home page, drew a table with the Nobel laureates of the field of particle physics. On this home page I listed Hungarian articles and books suitable for high school students as well. The students used this home page to prepare to the particle physics masterclasses. I worked out a measurement, to measure the number of particle generations based on the branching ratios.

I improved the articles of the Hungarian Wikipedia in the fields of particle physics and networks significantly. The articles I created or improved were articles of particle physics, history of physics, biography of physicists, universities, research institutions and complex networks and the physics portal. These pages are visited regularly.

2. On the Óbuda University site I organize the local events of the masterclass, introduce the students into the field of the theoretical and experimental particle physics, help them in performing the measurements. In 2005 I asked the students to fill a questionnaire form. From the analysis of the answers from two Hungarian sites I concluded that they were interested in these events, they collected previously unknown information about particle physics and they became more interested in the physics than they had been before.
3. I created the cxnet network-analyzer program package to make easier investigating networks. This package is able to create the whole software dependency network of the Ubuntu and Debian Linux distributions in tens of seconds, so we can analyze locally created fresh data. The cxnet is able to plot the degree distributions of the networks in several ways: using several binning

methods or as cumulative distribution. For scale-free networks it can be used to determine the exponent of the power-law function.

I worked out a course for the students of computer engineering about the investigation of complex networks. During the course the students become familiar with the most important properties and models of complex networks. They learn to determine these properties for networks stored in files and write program codes to solve problems related to complex networks with the `cxnet` and `igraph` program packages.

4. I analyzed the properties of the software package dependency network of the Ubuntu Linux distribution. I pointed out that it is scale-free, hierarchical, it has large clustering coefficient, and its evolution is driven by the preferential attachment.

I used networks generated by the `cxnet` package and some others to prepare problems for the informatics competition organized by the Óbuda University in the last three years. These exercises are about using relational databases to obtain degree distributions. The students have to load the network into the Microsoft Access or OpenOffice.org Base from two files containing the names of the packages for every identifier number, and the edge list as the pairs of identifier numbers respectively. Only the most talented competitors could solve the complete problems.

5. I pioneered the implementation of the multifractal network generator algorithm in Python programming language. I targeted first a given average degree, then a given degree distribution for the generated network. The program is able to approach quite close to prescribed given properties. We have rewritten the part of the program that required the bulk of the running time into C++. This made the program run an order of magnitude faster. Combining the codes written in C++ and Python we have been able to use the advantages of both programming language: the flexible usage of function parameters and the high level data structures in Python, and the speed of C++.

## **A tézisek alapjául szolgáló közlemények (List of publications relating to the dissertation)**

### **Referált közlemények (Peer reviewed articles)**

- [1] Horváth, Árpád  
*The cxnet complex network analyser software*  
Acta Polytechnica Hungarica, pp. 1–16. befogadó nyilatkozattal,  
IF: 0.385 (2011)
- [2] Horváth, Árpád  
*Running time comparison of two realizations of the multifractal  
network generator method*  
Acta Polytechnica Hungarica, pp. 1–14. befogadó nyilatkozattal,  
IF: 0.385 (2011)

### **Konferenciacykkek (Conference proceedings)**

- [3] Á. Horváth and Z. Trócsányi, *Complex networks in the higher  
education*, in *Proceedings of the 6th International Symposium  
Intelligent Systems and Informatics* (Subotica, Serbia, 2008. Sep.  
26-27.), pp 1–6, ISBN:978-1-4244-2406-1
- [4] Á. Horváth and Z. Trócsányi, *Complex networks in the  
curriculum of computer engineers*, in *IEEE Proceedings of the  
8th International Symposium on Applied Machine Intelligence  
and Informatics*, (Herľany, Slovakia, 28-30 Jan. 2010), pp  
199–206, ISBN:978-1-4244-6423-4, 978-1-4244-6424-1,  
978-1-4244-6422-7
- [5] Á. Horváth, *The software package dependency networks of some  
linux distributions*, in *4th IEEE International Conference on*

*Nonlinear Science and Complexity*, (Budapest, Hungary, 6-11 Aug. 2012), pp 235–238, ISBN:978-1-4673-2701-5

- [6] Á. Horváth and Z. Trócsányi, *Multifractal network generator with igraph, Proceedings of the Symposium on Applied Informatics and Related Areas* (Székesfehérvár, Hungary, 12 Nov. 2010)., pp 1–5, ISBN:978-615-5018-07-7
- [7] Á. Horváth, *Creating networks with given degree distribution with the multifractal network generator*, in *AIS 2011, Symposium on Applied Informatics and Related Areas*, (Székesfehérvár, Hungary, 16 Nov. 2011), pp. 1–5, ISBN:978-615-5018-07-7; 978-615-5018-22-0

### **Egyéb közlemények (Other publications)**

- [8] Árpád Horváth, *Studying complex networks with CXNet*, in *Acta Phys Debr*, Vol. XLIV (2010), pp. 37–47, HU ISSN 1789–6088, IF: 0.000
- [9] Horváth Árpád, *Lássuk a részecskéket!*, *Fizikai Szemle LV* (2005), no. 8 261–264., IF: 0.000
- [10] Horváth Árpád, *Részecskefizikai diákműhely*, *Fizikai Szemle LV* (2005), no. 8 292–296., IF: 0.000
- [11] Horváth Árpád, *Összetett hálózatok az informatikaoktatásban*, in *Matematikát, fizikát és informatikát oktatók XXXIV. konferenciája* (Békéscsaba, 24-26 Aug. 2010), pp. 1-9, DVD-n, ISBN:978-963-269-201-2, IF: 0.000
- [12] Horváth Árpád, *Összetett hálózatok oktatása*, in *Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan*, (Budapest, Hungary, 23-25 Aug. 2011), pp. 1–6, ISBN:978-963-284-224-0, IF: 0.000