

4. félévi beszámoló

Tóth Kristóf (tothk0711@gmail.com)

Fizika Tanítása PhD program

Témavezetők: Cynolter Gábor és Tél Tamás

A dolgozat címe: Kvantummechanika középiskolában: bevezetés a kvantumszámításokba

Bevezetés

Doktori tanulmányaim előtt megismerkedtem egy Olaszországban készült tananyaggal, amely a fénypolarizáción keresztül fedeztet fel a kvantummechanika alaptörvényeinek és formalizmusának egy részét. Ezt tanári szakdolgozatomban lefordítottam magyar nyelvre és egy tanulói csoportban kipróbáltam. Itt megszerzett tapasztalataim ösztönöztek doktori témám kiválasztására, ennek a projektnek a folytatásaként.

A tananyag azért is keltette fel az érdeklődésem, mert egyfelől jól felépítettnek és tanításra alkalmasnak találtam az elvégzett pilot kísérletben szerzett tapasztalataim alapján, másfelől mivel a fotonok polarizációs állapota egy polarizátorlemezen való áthaladás szempontjából kétállapotú rendszernek tekinthető, ezért alkalmasnak találtam a kvantumszámítások majdani bevezetésére is. Az új 2020-as Nemzeti Alaptanterv egyik következménye a fizika tananyagban a hullámtan drasztikus csökkentése, a matematika tananyagban a szögfüggvények általános szögekre való általánosításának kivétele volt, amely a kvantummechanika hullám-részecske kettőségén történő bevezetését megnehezítette. Habár az említett tananyag a polarizációt használja fel, amelyet az elektromágneses hullámok témakörénél szoktunk tanítani, e témakör tisztán fenomenologikus úton is felfedezhető, hullámtani ismeretek nélkül, ráadásul elegendő a koszinusz hegyesszögekre vonatkozó, minden diák által tanult esete. Pusztán azt kell felfedezni, hogy a fénynek van egy ún. polarizációs tulajdonsága, amely tulajdonság általában egy polarizátor lemezen való áthaladáskor válik meghatározottá. A matematikai formalizmus a fényintenzitásokra vonatkozó Malus-törvényre szűkül, melyben a $\cos^2 \theta$ kiszámítása nem tekinthető kihívásnak, mert elég azt a $0^\circ < \theta < 90^\circ$ szögekre alkalmazni.

Doktori kutatásom a következő pontokra épül:

- Hogyan lehetne kevés óraszámban, átlagos középiskolás diákoknak félkvalitatív, főként ismeretterjesztő módon a kvantummechanika bizonyos alapvonásait tanítani a fénypolarizáció jelenségén keresztül?
- Milyen tapasztalatokat, javaslatokat tudok megfogalmazni a tehetségesebb, érdeklődőbb diákokat célzó, hosszabb, eredeti olasz tananyagban alapuló módszerben?
- Hogyan lehetne a kimagaslóan érdeklődő diákokat a kvantumszámítások felé terelni, mely utat kínálhat az utóbbi években egyre népszerűbb, középiskolásoknak szóló TDK kutatások elvégzésére?
- Hogyan lehetne szinkronizálni ezt a középiskolás tananyagot az egyetemi bevezető kvantummechanikával. Ez a fizikatanároknak kiemelt jelentőségű lehet, hiszen tanulásuk során módszertani javaslatokat is kapnak, továbbá az új, esetlegesen megalakuló kvantummérnök képzések alapjául is szolgálhat.

Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése

- A 2020/21-es tanév járványügyi helyzete miatt létrehoztam egy honlapot, amelyen a diákok online is felfedezhetik a kvantummechanika világát [1]. Ezt az akkori kutatócsoportunk egy *Fizikai Szemle* cikk formájában is bemutatta [2].
- Az első, bevezetőben említett tanítási kísérletből elkezdtünk egy éve angol nyelvű cikket [3] írni két olasz társszerzővel (Marisa Michelini, Alberto Stefanel). A cikk tartalma, hogy bemutatjuk a magyarországi tapasztalatokat, amelyek segíthetik a tananyag nemzetközi elfogadottságát. Bemutatjuk, milyen nehézségekkel találkoztak a diákok, és milyen téves vagy esetlegesen helyes gondolkozási minták merültek fel, főként a fizikai állapot

vonatkozásában. A cikk megírása lassan halad, jelenleg a bírálatokra reflektálva újra beküldésre került.

- Az említett tananyagban a határozatlansági elv nagyon szokatlan módon van tárgyalva, erről egy magyar nyelvű, *Fizikai Szemle* cikket publikáltam [4].
- Szabó Róberttel cikket írtunk a *Magyar Tudományba*, ahol a tudós tanár – tanár tudós viszonyt értelmeztük fiatal tanárként [5].
- Az olasz tananyagot röviden összefoglaltam *Fizikai Szemle* hasábjain. [6]
- A polarizációs tananyag magyarországi tapasztalatairól egy angol nyelvű cikket írtam a *GIREP* konferenciakötetbe. [7]
- Cikket írtam, mely bemutatja az általam az ELTE-n a 2021/22-es tanév őszi félévében tanároknak tartott kvantummechanika gyakorlat első három 90 perces óráját. Ezeken a tanórákon az olasz tananyag tanárképzésben alkalmazható módosított verziója szerepelt [8]. Itt a már bevezetőben említett motivációból adódóan az anyagot rövidítettem, új feladatokat alkottam és illesztettem az egyetemi ismeretekhez.

Tanulmányi tevékenység az első három félévben

A kötelező doktori tárgyakon felül...

- ...elvégeztem egy tanfolyamot a BME, Wigner Jenő Szakkollégiumában *Kvantumszámítások Online Őszi Iskola* címmel, 2020/21/1-ben. Ez egy rövid workshop volt a kvantumprogramozásra épülve, ahol a Qiskit Bronz fokozatát csináltuk végig (<https://gitlab.com/qworld/bronze-qiskit>).
- ...jelesre elvégeztem a *Kétállapotú rendszerek kvantumfizikája (előadó: Patkós András, tárgykód: twostateqsf20em)* tárgyat, 2020/21/2-ben. A kvantumos viselkedés összes, a klasszikus tapasztalatra alapozott várakozással ellentétes sajátossága megjelenik a két diszkrét szabadsági fokkal bíró rendszerek kvantumviselkedésének elemzésében. Egzaktul két állapotúak a mágneses momentum szempontjából az 1/2 spinű részecskék (pl. neutron, elektron, stb.) vagy a fénykvantum polarizációja. Ilyen rendszerekre (pl. lézerekre) sajátos tárgyalás is kidolgozható. Sok-állapotú atomi rendszerek is jól közelíthetőek bizonyos fizikai jelenségek elméleti leírásakor a jelenség szempontjából meghatározó két állapotra korlátozva a tárgyalást. Ez használható atomi átmenetknél a rezonancia frekvencia közelében. A fellépő ún. Rabi-oszcilláció alapvető megfigyeléseket magyaráz meg a kombinált töltés- és tértükrozesi (CP) szimmetria sérülésének vagy a neutrínók fajtái közötti periodikus átmeneteknek az elméletében is. Az előadásokban a hallgatók megismerték a kapcsolódó kísérleteket, tárgyalásuk alapfogalmait, az ezekre épített elemi matematikai tárgyalást, végül néhány ígéretes technikai alkalmazást.
- ...jelesre elvégeztem a *Kvantumszámítás-technika (előadók: Kozsik Tamás, Zimborás Zoltán, tárgykód: IKP-9274)* tárgyat, 2020/21/2-ben. Ez az alapvetően informatikusoknak szánt szabadon választható tárgy a kvantuminformatika alapjait mutatta be. Ez a tantervi felépítés az én kutatásaimhoz is hasznos segédanyagként szolgálhat.
- ...felsőfokú komplex angol nyelvvizsgát tettem (ORIGO), 2021/22/1-ben.

Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

Eddigi tevékenységem alapján tagja lettem a nemzetközi *Quantum Technology Education* projektnek (<https://qtedu.eu/>), melynek keretében különböző kétállapotú rendszereken alapuló tanítási anyagokat hasonlítunk össze külföldi kollégáimmal. Ennek kapcsán létrehoztunk egy kérdőívet a „mérés” kvantumos értelmezését vizsgálva. Ezt 5 nyelvre (angol, német, szlovén, olasz, magyar) lefordítottuk, pilot kísérletekben teszteltük fizikatanárokon, egyetemi hallgatókon és középiskolás diákokon is. A tesztelés során szelektáltuk a triviálisan jó és rossz válaszokat, a helytelen és rosszul értelmezhető mondatokat, és a teszt időtartalmát optimalizáltuk 1 tanóra. A készítés során felhasználtuk a tipikus, szakirodalom által feltárt

tévképzeteket. A kérdőívvel nem a helyes/helytelen válaszok begyűjtése a cél, hanem a diákok gondolkozási mintáinak felfedezése az egyes tananyagokra bontva. Remélhetőleg ebből egy angol nyelvű cikkek fogunk írni. A projekt rövid bemutatása a <https://qtedu.eu/project/development-quantum-concepts-different-two-state-approaches> honlapon is elérhető.

Ezenfelül a határozatlansági elv tetszőleges kétállapotú valós rendszerekben történő megnyilvánulásáról egyik témavezetőmmel (Tél Tamás) angol nyelvű cikket írunk, amely beküldés előtt áll [9]. Ez a munka támogatja az új, kétállapotú rendszereket felhasználó tananyagok integrációját.

Két tanítási kísérletet is elvégeztem. Az egyik a rövidített olasz tananyag 20 db 10. osztályos diákokon történő tesztelése 2 polarizációs kísérletezés és 3 kvantummechanikával foglalkozó tanórán, a másik pedig a *Quantum Technology Education* keretében kutatócsoportunkkal elvégzett kísérlet, ahol 20 db 11. osztályos diákot tanítottam 8 tanórán, amelyet 4 tanóra polarizációs kísérletezés előzött meg, illetve 2 tanóra a pre- és posztteszt megírásával telt. Ezek reményeim szerint 1-1 angol nyelvű cikk megírását fogják eredményezni a jövőben.

Jövőbeli tervem a kvantumszámítások alapjainak bemutatása a fénypolarizáción tananyagban alapulva. Ennek során szeretnék konkrét példákat hozni az aktuális eredményekre, például a qubit fogalma bemutatható a foton polarizációs állapotával. Az összefonódáson keresztül a diákok láthatják, hogy a qubitek számát növelve a számítási kapacitás akár exponenciálisan is nőhet, mely a kvantum számítógépek alapja. Másik lehetőséget a kvantum titkosítás BB84 protokollon keresztüli bemutatására látok. Ezek a projektek várhatóan a doktori tevékenységem következő tanévet fedik le.

Irodalom

- [1] Tóth Kristóf (2020) *Modern fizika középiskolásoknak: Bevezetés a kvantumszámításokba*. Internetes honlap. <https://kvantummechanikus.wordpress.com/>
- [2] Az ELTE Fizika tanítása PhD program és az MTA–ELTE Fizika Tanítása Kutatócsoport résztvevői (2020) *Szabadon elérhető, online anyagok a középiskolai fizika távoktatásához*. Fizikai Szemle (3) 108-109. http://fizikaiszemle.hu/uploads/2020/04/fizszem-202003-online-anyagok_16_39_55_1586875195.5346.pdf

Saját publikációk

- [3] Marisa Micheli, Alberto Stefanel, Kristóf Tóth (2022) *Implementing Dirac Approach to Quantum Mechanics in a Hungarian Secondary School*. International Journal of Science and Mathematics Education. Bírálat alatt.
- [4] Tóth Kristóf (2021/10) *A kvantum-határozatlanság a kvantummechanika fénypolarizációs modelljében*. Fizikai Szemle. 349-355. http://fizikaiszemle.hu/uploads/2021/11/fizszem-202110-tothkristof_15_01_11_1636120871.9724.pdf
- [5] Szabó Róbert, Tóth Kristóf (2021) „*Tudós tanár – tanár tudós*”: egy védés margójára. Magyar Tudomány, Akadémiai Kiadó (3) 413-419. doi: 10.1556/2065.182.2021.3.12 https://mersz.hu/mod/object.php?objazonosito=matud202103_f56264_i1
- [6] Tóth Kristóf (2021/06) *Modell kvantummechanika középiskolában*. Fizikai Szemle. 209-214. http://fizikaiszemle.hu/uploads/2021/06/fizszem-202106-tothkristof_14_07_55_1624882075.43.pdf
- [7] Kristóf Tóth (2021) *Introducing Quantum Mechanics through light polarization: Experiences in Hungary*. Journal of Physics, Conference Series, Elfogadva, megjelenés előtt
- [8] Kristóf Tóth (2022) *Integrating Dirac Approach to Quantum Mechanics into Physics Teacher Education*. AIP Conference Proceedings. Elfogadva, megjelenés előtt.

Előkészületben

- [9] Kristóf Tóth, Tél Tamás (2022) *Quantum Uncertainty: What to teach?* Physics Education. Beküldés előtt áll.

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

Elvégeztem a kötelező doktori tárgyakat.

Konferenciák a képzés alatt

- Tóth Kristóf: Határozatlansági elv: Mit tanítsunk középiskolában? 2. *Történet- és természettudományi hallgatói konferencia*. 2022.05.31.
- A. Archidiacono, A. Stefanel, B. Philipp, F. Sergej, G. Pospiech (presenter), L. Santi, M. Michelini & K. Tóth: Development of quantum concepts via different two-state approaches. *EQTC2021. Virtual Conference. Workshop 3.2 - Education and Training: QTEdu Community Workshop, Schools and Outreach*. Ireland. 01.12.2021. <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteuprod/production-abbey-public/b39e69cfd3045e89ba3af2d03a5deb4>
- Kristóf Tóth: Uncertainty principle: its role in teaching/learning quantum physics via two-state systems. *TIM 20-21, Physics Conference (online)*. 11-13.11.2021.
- Tóth Kristóf: Bevezetés a kvantumszámítások alapjait adó jelenségekbe a középiskolában. *63. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató*. Vác. 2021.10.23. http://elft.hu/wp-content/uploads/2021/10/Programfuzet_63Anket_2021_v06.pdf
- Tóth Kristóf: Egy szemléletes mechanikai kép a kvantummechanika tanításában. *IX. Eötvözet Konferencia (online)*. 2020.12.18. https://drive.google.com/file/d/1vz4QuxLiyDXItZHb4P_h1vH47ZQ3AUOs/view?fbclid=IwAR1JxMMbYyGfXeMx1BmEtEpMmjCd8t6S7bg8O34tI-RoxpicaMf_najZCNs
- Kristóf Tóth: Teaching quantum mechanics through light polarization in secondary school (e-poster). *9th Interdisciplinary Doctoral Conference*. 27.11.2020. <http://phdpecs.hu/rendezveny/idk20/?l=en>
- Kristóf Tóth: Introducing Quantum Mechanics through light polarization: Experiences in Hungary. *GIREP Webinar 2020 Conference (online)*. 16.11.2020 <https://www.um.edu.mt/events/girep/GIREPWEBINAR2020/webinarprogramme>
- Tóth Kristóf: Módszertani nehézségek a nehézségi erő tanításában. *XXI. Eötvös Konferencia (online)*. Budapest. 2020.09.26. <https://sites.google.com/view/xxiek>

Oktatási tevékenység

1. félév:

A fizikatanár-szakos hallgatóknak tartottam a *Demonstrációs fizika laboratórium* tárgyat heti 4 órában, továbbá heti 6 tanóránban tanítottam fizikát a győri *Czuczor Gergely Bencés Gimnáziumban*.

2. félév:

A fizikatanár-szakos hallgatóknak tartottam *Elektromágnesség és optika* tanári kiegészítő gyakorlatot heti 2 órában, továbbá heti 6 tanóránban tanítottam fizikát a győri *Czuczor Gergely Bencés Gimnáziumban*.

3. félév:

A fizikatanár-szakos hallgatóknak tartottam *Kvantummechanika* gyakorlatot heti 2 órában, továbbá heti 7 tanóránban tanítottam fizikát a győri *Czuczor Gergely Bencés Gimnáziumban*.

4. félév:

A fizikatanár-szakos hallgatóknak tartottam *Elektromágnesség és optika* tanári kiegészítő gyakorlatot heti 2 órában, továbbá heti 7 tanórán tanítottam fizikát a győri *Czuczor Gergely Bencés Gimnáziumban*.

Szakmai közéleti tevékenység

- A fizikatanár-szakos hallgatóknak meghirdetett országos *Károlyházy Frigyes Problémamegoldó Versenyén* szervező bizottsági tagjaként feladatokat tűztem ki, amelyeket értékeltem, mindemellett a verseny szervezésében is aktív szerepet vállaltam a 20/21-es és 21/22-es tanévben is.
- A 20/21-es tanévben az *ELTE TTK Fizikai Intézet TDK kari fordulóján a Csillagászat, Klasszikus Fizikai Problémák és a Fizika Tanítása szekcióban* bizottsági tag voltam.
- A 20/21-es tanévben meghívott előadó voltam a Kempelen Farkas Gimnázium budapesti iskolában. Az öt tanórás előadássorozat egy tucat középiskolásnak szólt és témája a kvantummechanika volt. Az előadássorozatban felmértem a rövidített kvantummechanika tanítási lehetőségeit. Az előadás az iskola fizikasakköre keretében történt a diákok és fizikatanárok érdeklődésére.
- Károly Ireneusz Fizika Tanulmányi Verseny Bíráló Bizottsági tagként dolgoztam a 20/21-es és 21/22-es tanévben is. <https://www.katped.hu/tanulmanyi-versenyek-hirei/karoly-ireneusz-fizika-verseny-2020-2021-tanev>

Elismerések

- Tóth Kristóf (2021) *Kvantummechanika középiskolában*. OTDK dolgozat (Témavezető: Tél Tamás) <https://tinyurl.com/qm-iskola> OTDK II. hely (FiFöMa), DOSZ (Doktoranduszok Országos Szövetsége) különdíj, OTDK Social Media különdíj.
- Tóth Kristóf (2021) *Nehézségi erő középiskolában. Egy rossz szokás vagy hasznos hagyaték?* OTDK dolgozat. (Témavezetők: Tasnádi Péter, Tél Tamás) <https://tinyurl.com/mg-iskola> OTDK részvétel (FiFöMa).
- 2021.09.01-2022.01.31. – Új Nemzeti Kiválósági Program ösztöndíj (ÚNKP). Cím: Kvantummechanika a fizikaórán.
- 2022.02.01 –től Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj (KDP)