

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

A kvantummechanika tanítása, illetve egyéni fejlődési
lehetőségek középiskolában

Schramek Anikó

Témavezető: Dr. Cynolter Gábor

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Fizika Doktori Iskola

Vezető: Dr. Gubicza Jenő

Fizika Tanítása Doktori Program

Vezető: Dr. Tél Tamás

2020.

Bevezetés

A fizika tantárgy népszerűségének folyamatos csökkenéséről sok írás született, ennek okait is ismerjük. Tudjuk, hogy az okok egy része rajtunk – tanárokon – kívül áll, kevés eszközünk van, hogy tegyünk ellene. Abban azonban van felelősségünk, hogy saját környezetünkben az adott körülmények között mindent megtegyünk, hogy a fizikát úgy adjuk át, ahogyan azt diákjaink be tudják fogadni, meg tudják szeretni. Természetes, hogy mindenkinek nem ez lesz a szakterülete, de még csak kedvenc tantárgya sem, de törekednünk kell arra, hogy a diákok tehetségének, érdeklődésének megfelelően úgy válasszuk meg mind a tananyagot, mind a módszereinket, hogy attól a diákok fejlődjenek. Az említett „fejlődés” sokrétű, jelenti a diákok tudásának, gondolkodásának, vagy akár személyiségének fejlődését is.

Fentiek megvalósításához elengedhetetlen, hogy a tanítás folyamatát tervezzük, adott iskola illetve osztálytípusra, az általunk tanított diákokra szabjuk. Első lépésben szükséges a tanterv és a kimeneti követelmények pontos ismerete, valamint diákjaink későbbi terveinek, lehetőségeinek figyelembevétele. Ez utóbbi egy osztályon belül is széles skálán mozoghat, ennek megfelelően gyakran használjuk az oktatásban a differenciálás szót, fogalmat. Én azt gondolom, ha a fizika sokoldalúságát kihasználva, annak minél több oldalát, szemléletét megmutatjuk diákjainknak, ők maguk fogják tudni kiválasztani a saját tehetségüknek, érdeklődésüknek megfelelő tartalmakat, leírásmódokat. A matematikában tehetséges diákok számára egyértelműen adott a jelenségek matematikai leírása, a természettudományos gondolkodású diákok jól boldogulnak a jelenségek értelmezésével, mélyebb megértésével. Azok, akik gyakorlatiasabbak, jó kezűességgel rendelkeznek, a mérésekben, eszközkészítésben találhatnak örömet, a humán érdeklődésű tanulókhöz pedig a fizikatörténet, hozhatja közelebb a tantárgyat. Tapasztalataim alapján, ha sikerül a tantárgyat érzelmileg közel hozni a diákokhoz, akkor a fent felsorolt kategóriák kiszélesednek, vagyis egy-egy diák nem csak a hozzá legközelebb álló nézőpontnak megfelelően, hanem más szemszögből is érti, vizsgálja a természetet.

Bár a két szintű érettségi bevezetése óta az érettségi feladatsorok nem csak a matematikai leírást követelik meg, a korábbi évtizedek hatása, illetve a fizika versenyek többségének feladatai még mindig azt erősítik a diákokban, hogy a fizika a matematika „rokona”. Ennek következtében még mindig kissé háttérbe szorul a jelenségek képekkel való leírása, a modellek megértést segítő használata. Fenti célok eléréséhez pedig szükség van ennek megerősítésére éppen úgy, mint a matematika modellek, matematikai összefüggések megismertetésére. A tantárgy

megszerettetéséhez, a megértés segítéséhez emellett fontosnak tartom az új ismereteknek a már meglévő ismeretekhez, más tantárgyak keretében tanultakhoz való kötését, illetve azok jól átgondolt megalapozását.

Célkitűzések

A kvantummechanika középiskolai tanítása különösen nehéz, hiszen a téma önmagában is elvont, hétköznapi tapasztalatainkon kívül esik. Doktori munkámban a tanítandó fogalmak, érettségiben szereplő követelmények összegyűjtése után, az ennek megfelelő módszertani, tudás átadására vonatkozó lehetőségeket taglalom. A tananyag különböző érdeklődésű, tehetségű diákoknak megmutatható tartalmát gyűjtöm össze, az átadás és megértés segítésére keresek módszereket. Vizsgálom, hogy a klasszikus fizika témakörébe tartozó, mechanikai hullámokat leíró fejezetben mik azok a jelenségek, amikre időt szánva, azokat kiemelve megalapozhatjuk néhány a kvantummechanikában előkerülő jelenség könnyebb megértését, valóságához való kötését. Egy példán keresztül bemutatom, hogyan köthető a téma a biológiához, milyen lehetőséget ad ez a megértés, illetve a tantárgy megszerettetésének erősítésében.

A részecskefizika nem része a középiskolai fizika tantervnek, de napjainkban elkerülhetetlen, hogy fizika órán szóba kerüljön. Egy pályázatnak köszönhetően néhány diákkal lehetőségem volt részt venni kutatók munkájában, részecske-detektor építésében. A téma egyrészt köthető a kvantummechanikához, másrészt a munkában való részvétel új lehetőségeket mutatott. Ennek megfelelően összegzem diákok kutatásban, projektekben való részvételének tudásukban, motivációjukban megmutatkozó hozadékait, ennek társaikra gyakorolt hatását. Ez a lehetőség, és annak diákok körében mutatkozó népszerűsége további lehetőségek felkutatására sarkallt, aminek következménye egy az iskolánkban indított új program beindítása lett. Egyik tézisemben a program megszervezését, eddig megvalósult eseteket mutatom be, annak hatásait vizsgálom.

1. A kvantummechanika témakörben tanítandó tananyag, lehetőségek a különböző iskola vagy osztálytípusokban

Doktori munkámban összegyűjtöttem a NAT illetve a kerettanterv szerint a témában kötelezően megtanítandó, és az érettségi követelményekben szereplő tartalmakat. Ezt egészítettem ki olyan – a középiskolába bevihető - a megértés elmélyítésében segítő elemekkel, amelyeket a tanítás során gyakorlatban kipróbáltam. Erre a tematikára készítettem el saját jegyzetemet, melyet diákjaim használnak, a téma rendszerezését, megértését segíti.

Elsődleges célom a témához tartozó tananyag rendszerezése volt, illetve annak taníthatóságának vizsgálata. Időközben a témát humán, természettudományos, és matematika tagozatos osztályban is tanítottam, ezen tapasztalataim alapján rendezem a tartalmakat adott osztálytípusban bemutatható csoportokba. Diákjaim számára saját jegyzetet írtam, amit mellékletben csatolok. A jegyzet minden a Kerettanterv és az érettségi követelményekben szereplő tematikát tartalmaz. A tartalom mellett az átadás módjára is kerestem lehetőségeket. Úgy gondolom, a megértést leginkább az nehezíti, hogy a téma elvont, ebben a jelenségkörben nincs saját tapasztalatunk, így nagymértékben kell képzelőerőnkre hagyatkoznunk. Ebben nyújt segítséget a képi megjelenítés, amit el tudunk képzelni, azt értjük, vagy érteni véljük. Ennek megfelelően sok képet, szimulációt is összegyűjtöttem, melyekre a jegyzetben linkek mutatnak, melyek használatához segítségül szolgáló rövid leírást is adok. Ilyen például a fotoeffektust, vagy az atommodelleket bemutató szimuláció, mely a képi megjelenítés mellett azt is bemutatja, milyen megváltoztatott körülmény milyen változást okoz a jelenségben, illetve az elektron állapotában. Link mutat a periódusos rendszerre, melyben az elemekre klikkelve láthatjuk azok színképét. A részecskék helyének valószínűségi értelmezését néhány konkrét eseten – potenciálhegy, potenciálvölgy – mutatom be, melyekhez szintén ábrákat illetve szimulációra mutató linket illesztettem be. Azon jelenségeket, kísérleteket, melyekhez nem köthető szimuláció, az elrendezést bemutató, a lényegyet kiemelő képpel igyekszem érthetővé tenni. A jegyzet tehát tematikájában azt tartalmazza, ami a középiskolai oktatásban szükséges, illetve interaktív. Tudomásom szerint a témában magyar nyelven ilyen jegyzet eddig nem készült.

2. A kvantummechanika megalapozása mechanikai hullámok témakör tanításakor

A kvantummechanikai jelenségek között találhatóak olyanok, amelyeket már a mechanikai hullámok tanításakor megmutathatunk, felhívva rá a diákok figyelmét, hogy később más összefüggésben lesz jelentőségük. Doktori munkámban ezeket gyűjtöttem össze, mutattam be. A magyarországi oktatásban ez a két téma időben is, szemléletben is távol van egymástól. Munkámban rávilágítok, hogy ha ezt a távolságot megszüntetjük, a kvantummechanikát a diákokhoz is közelebb hozhatjuk.

A mechanikai hullámok tanításának elején, a matematikai leírást a hullámok – illetve a síkhullámot alkotó tömegponok kitérésének - térbeli és időbeli periodicitását tartalmazó függvény felírásával kezdjük. A függvény ismeretének, és a klasszikus fizikában való bemutatásának a későbbiekben is hasznát vesszük, a kettős természet illetve részecskék helyzetének hullámfüggvénnyel való leírásakor.

A hullámtulajdonságok, és az ezekhez kapcsolódó jelenségek közül több szóba kerül a kvantummechanika előzményeiként tárgyalt, illetve a részecskék hullámtermészetével magyarázható jelenségek között. Ilyen az alagúteffektus, amit hullámok törése, illetve a teljes visszaverődés kapcsán láthatunk; az interferencia, aminek matematikai leírása később a de'Broglie-féle modell állóhullám értelmezésében segíthet; a Bragg reflexió, ami a kvantummechanika előzményei között szerepel, illetve az elhajlási jelenségek résen és rácson (több résen) megértésében lehet szerepe.

A mechanikai hullámoknál megismert matematikai leírás, és az itt tárgyalt jelenségek hullámfüggvénnyel és kvantummechanikai jelenségekkel való párhuzama a középiskolai tanításban nem megszokott, pedig tapasztalataim alapján segíti ez utóbbi téma megértését.

3. A kvantummechanika és a biológia kapcsolata, avagy tantárgyközi kapcsolatok

Új ismeretek megértésében, elraktározásában segít, ha azokat már meglévő ismeretekhez tudjuk kötni, vagy a fejünkben már meglévő rendszerbe tudjuk illeszteni. Ezért is fontos a tantárgyak közötti kapcsolat, illetve adott témakör több szempontból való bemutatása. Ilyen tantárgyközi kapcsolatot találhatunk a kvantummechanika témakörében a biológiával. A két területet ötvöző kvantumbiológia friss tudomány, ezért egyrészt felébresztheti a diákok természetes kíváncsiságát, másrészt lehetőségként kínálhatja magát mint kutatási terület. A téma középiskolai diákokkal való megismertetésére biológus kollégámmal vállalkoztunk egy iskolai előadás keretében.

Az előadás során az én feladatom a fizika területéhez tartozó, a téma megértéséhez szükséges jelenségek bemutatása volt. Néhány ezek közül a klasszikus fizika témakörébe tartozik, néhány a kvantummechanika témakörébe. Ez utóbbi jelenségek a vonalas színek és a spektroszkópia, kettős- illetve hullámtermészet, részecskék helyzetének valószínűségi leírása, alagúteffektus, kevert állapot, kvantum összefonódás, „rugalmatlan alagutazás”. Az alagúteffektusnak több biológiai folyamatban tulajdonítanak jelentőséget. Ilyen például a kollagenáz enzim által kötések felszakítása közben bekövetkező ionvándorlás, illetve a szaglás során egy elektron vándorlása. Utóbbiban fontos szerepe van az energia kvantáltságának, illetve ehhez köthető a „rugalmatlan alagutazás”, melynek során az elektron – másik atomhoz való vándorlása során - úgy jut alacsonyabb energiájú állapotba, hogy a feleslegessé vált energiát útközben az illatanyagra jellemző molekulának adja át. Az energiát felvevő molekula kötése mentén fellépő rezgéseikhez tartozó energiák okán van szükség a spektroszkópia, ebben az esetben a Raman-spektroszkópia megismertetésére. A kevert állapotoknak és a kvantumösszefonódásnak a feltételezések szerint a vándormadarak tájékozódásában van szerepe. Itt a Föld mágneses tere, illetve a mágneses indukcióvektor vízszintessel bezárt szöge segíti a madarak irányválasztását. Az érzékelésben fontos kémiai reakciók reagenseiben az elektronok kevert állapotban vannak. A mágneses tér a végtermékekben az elektronok spinjére, illetve a különböző spinű elektronok arányára van hatással. Erre lehetnek érzékenyek a madarak szemében található receptorok, és tehetik ezáltal érzékelhetővé a mágneses tér irányát.

A közönség összetétele vegyes volt, a diákok többségének nem, vagy alig volt ismerete a témában. Ennek ellenére sikerült - a képi megjelenítés segítségével - átadni a megértéshez szükséges ismereteket, amit a diákok hozzászólásai, kérdései bizonyítottak.

4. Diákok részvétele detektorépítésben, a kutatás illetve projektmunka lehetséges hozadékai

Diákjaimmal a MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont által meghirdetett pályázat keretében sokszálas proporcionalis számláló építésében vettem részt. A program során megtapasztaltam milyen hozadékai lehetnek a diákok számára a kutatásban való részvételnek, a kíváncsiság vezérelte vizsgálódásnak. Ez a hatás nem csak a programban résztvevő diákokra érvényesül, hanem környezetükre, osztály- és iskolatársaikra is. Ezt igazolja a programban résztvevő diákok, és osztálytársaik hasonló programokban való részvétele, azok nagy száma, illetve továbbtanuláskor egyetem és szakválasztásuk is. Mind a résztvevők, mind társaik között nagyarányú volt a fizikához köthető szakválasztás.

Én munkámban a résztvevő diákok motivációjára, pályaválasztására, illetve a környezetükben tanulók motivációjára való hatást vizsgáltam. Munkámban nagy segítséget nyújtott dr. Oláh Éva Mária, aki hasonló program keretein belül a részecskefizika középiskolai tanításának lehetőségeit vizsgálta. Tapasztalatait a „Részecskefizika tanítása középiskolában” című doktori dolgozatban írta le, 2018-ban. Kezdetben négy diákkal vettem részt, majd az első év után újabb tanévre kaptunk lehetőséget, ekkor még nyolc diákot vontunk be. A detektor működési elvének megértéséhez elektrosztatikai ismeretekre, a keresett részecskék bemutatásához mag- illetve részecskefizika tudásra volt szükség. Ezeket röviden, megalapozás nélkül, de érthetően kellett bemutatni, jól megtervezve, hogy mi az, amire szükség van, mi az ami elhagyható. Emellett ügyelni kellett arra, hogy a rövid bemutatás ne okozzon félreértéseket, rossz értelmezést. A Standard-modell és a gáztöltésű detektorok működési elvének bemutatásával kezdtük, röviden beszéltünk arról, milyen céllal épültek a részecskegyorsítók, mi a bennük zajló kísérletekben a detektorok szerepe. A részecskefizika nem része a középiskolai tantervnek, de a többi területhez a diákoknak részben már voltak ismeretei.

Természetesen a munka során egyéb területek hiánya is kiderült, ilyenkor igyekeztem ezeket hasonlóan óvatosan, de hatékonyan pótolni. Ilyen volt például a relativitáselmélet és a kvantummechanika egy-egy részlete is. Ezek az ismeretek tehát azonnal a gyakorlati alkalmazással együtt kerültek elő, a diákok nem a megszokott módon tanulták őket. Ennek egyrészt a beépülésben, másrészt a motivációban van szerepe. A második évben már az első év résztvevőit kértem meg, hogy az újonnan becsatlakozó diákoknak mutassák be a szükséges fizikai háttérrel, és magát a detektor elkészítésének folyamatát is. Ez részben az ő tudásuk rendszerezésében, mind az új résztvevők motiválásában hasznosnak bizonyult.

A programnak nem csak a résztvevőkre volt hatása, hanem társaikra is, akik hozzájuk hasonlóan beleláthattak, hogy a fizika nem pusztán egy tantárgy, hanem valódi tudomány, amiben az elmélet iránt fogékonyak, és a gyakorlati alkalmazásra nyitottabbak is megtalálhatják az őket érdeklő területeket. A kutatás fontos szerepét felismerve saját projektekbe is belevágtam, amihez a résztvevők azokból az osztályokból kerültek ki, amelyekben a detektorépítésben résztvevők tanultak. A projekteket minden általam tanított osztályban bemutattam, azok vehettek részt, akik ehhez kedvet éreztek, a jelentkezők mégis minden esetben a korábbi projektben résztvevő diákok osztálytársai közül kerültek ki. Ez egyértelműen azt mutatja, hogy a programnak a társakra is volt hatása.

5. A vezetésemmel zajló mentorprogram bemutatása

Felismerve, hogy a kutatásnak, illetve az iskolai tananyagon túlmutató tudásnak milyen nagy szerepe van a diákok motiválásában, és gondolkodásmódjuk alakulásában, iskolánkban az intézmény vezetőségének támogatásával mentorprogramot építettem ki. Ehhez kerestem, és kaptam segítséget több egyetem és kutatóintézet tanáraitól, kutatóitól, illetve az iskolánkban tanuló diákok szüleitől, öregdiákjainktól. Ők mentorként vonják be az erre jelentkező diákjainkat saját kutatásaikba, a közös munkából esetenként komoly eredmények születnek. A program hatása megmutatkozik diákjaink országos és nemzetközi versenyeken való szereplésében, TDK dolgozat születésében, illetve diákjaink továbbtanulásában is.

Iskolánkban sok tehetséges diák tanul, közülük többen szélsőségesen tehetségesek. Gyakori, hogy ezen diákoknak a tananyag nem jelent elegendő kihívást, így motivációt sem. A tananyagon túlmutató tartalmak viszont kifejezetten vonzóak számukra, meglepően jól el tudnak mélyedni egy-egy speciális kérdéskör megismerésében akár önállóan is. Ez adta az ötletet a programhoz, melyben ahelyett, hogy megpróbálnánk minden téma szakértőivé válni, vagy azt a látszatot kelteni, hogy ez lehetséges, adott témák szakértőit kérjük fel, hogy diákjainkat azok felfedezésében segítsék. A program számomra is meglepően gyorsan, nagy létszámú segítségét felajánló mentorral, és vállalkozó kedvű diákkal indult el.

Eddig két féléven keresztül zajlottak munkák, amik nagyon széles skálán mozognak a pályaorientációs tapasztalattól a komoly TDK dolgozat megírásán át valódi kutatásokban való részvételig. A szervezésben, adatok nyilvántartásában egy háromfős diákcsoport segíti a munkámat, a mentorok megkeresése az én feladatom maradt. Az egyes munkák befejezése után a diákok beszámolót írnak, amiben alkalmuk van nem csak a munka bemutatására, de saját fejlődésük, tapasztalataik felmérésére, rendszerezésére is. Vett részt diákunk a Zeemann-effektus vizsgálatában, írt győztes TDK dolgozatot „Lépcsőn pattogó labda vizsgálata” címmel, két diákunk hosszú ideje vesz részt kisbolygó kutatásban, illetve egy már egyetemistaként tagja egy Napkutatásban dolgozó kutatócsoportnak. Emellett számos eredményünk van kémia és biológia területén is.

A program indításakor céljaink között szerepelt a külföldi egyetemeken való továbbtanulást választók számának visszaszorítása is. Ezt azért éreztük szükségesnek, mert iskolánk matematika és természettudományos osztályaiban nagyon elterjedté vált. A természettudományos területeken mindenhol hiányoznak szakemberek, ha diákjaink már egyetemi éveik alatt ott tanulnak, nagyobb eséllyel fognak ott élni tanulmányaik befejezése után is. Szeretnénk, ha tehetséges diákjaink többen maradnának Magyarországon, tanulnának nagyhírű egyetemeinken, és jelentenének utánpótlást hazai kutatóintézetekben, munkahelyeken.

6. Egy saját projekt: a szinkronizáció

A szinkronizáció vizsgálatát a harmonikus rezgőmozgás során mutattam, mutatom be diákjaimnak, akik közül az erre fogékonyakkal komolyabb vizsgálatba kezdtünk. A téma túlmutat a középiskolás tananyagon, így ott eddig nem jelent meg, de tapasztalataim alapján köthető ahhoz és a diákokhoz közelítható.

Több iskolai projekten irányítottam diákjaim vizsgálódásait, ezek közül egyik a rezgőképes rendszerek szinkronizációja. Az ezen projektekben résztvevők szívesen tekintettek bele társaik munkájába, időnként segítve is egymásnak. Valódi műhelymunka alakult ki, ami mind a diákok motivációjára, mind pályaválasztására hatott. Két diák a témával részt vett a 2019-es Országos Tudományos Diákköri Konferencián.

A jelenséget az egyik csoportban bemutatva, néhány diák kíváncsisága további vizsgálatokhoz vezetett. A kezdetben három rugó-test rendszert nagyobb számú oszcillátorra cseréltük. A folyamat során az elrendezés többször változott. Először egy hengerekre fektetett lapra rögzített fizikai ingákból álló rendszerrel próbálkoztunk, majd a csatolás szorosságát nem elég szorosnak ítélve, egy közös damilszálra akasztottuk az ingákat. Ehhez megfelelő csapágyakat kaptunk, azok ingákra való rögzítéséhez egy diákunk tervezte meg és nyomtatta ki 3D nyomtatóval a megfelelő alkatrészt. A várt kollektív viselkedés így sem alakult ki, így egy diákunk szimulációt készített, hogy ellenőrizzük valóban várható-e a szinkronizáció. Ehhez a Kuramoto-modellt használtuk, a csatolásban fellépő kölcsönhatást ez alapján a fáziskülönbségek harmonikus függvényeként leírható erőként kezeltük. A szimuláció alapján azt feltételeztük, még mindig nem elég szoros a csatolás, így visszatértünk a rugó-pontszerű test oszcillátorokhoz, amihez megfelelő rugókat kellett beszereznünk. Mostanra rendelkezésre állnak az eszközök, több filmen rögzítettük kollektív viselkedés kialakulását, az elemzéshez szükséges módszert keressük. Három rugó esetén találtunk az elemzéshez szükséges szoftvert, de nagyobb számú tömegpont mozgásához nagyobb számítási kapacitásra lenne szükség.

Összegzés

Egy tanárok számára kevésbé egyértelmű terület, a kvantummechanika tanítását igyekeztem körüljárni. A tananyag rendszerezése mellett annak sokféle átadására kerestem módszereket, segédanyagokat. A terület elsősorban még a fizikából korábban tanultakhoz sem köthető, más tantárgyakhoz pedig még kevésbé, mégis mindkettőre kerestem példát, sőt az ezekhez való kapcsolás szükségességét, hasznosságát támasztom alá.

A tehetséggondozásban alkalmazható módszerként mutatom be a kutatásban, projekteken való részvételt, akár iskolai kereteken belül, akár azon túlmutatóan, külső segítség bevonásával. Ilyen projektek tapasztalatait írom le, értékelem munkámban.

A tézisekhez kapcsolódó publikációk

Oláh Éva Mária, Schramek Anikó, Horváth Norbert, Kutatódiákok a Wignerben, *Nukleon* XI. évf. (2018) március 213. o.

Schramek Anikó, Oláh Éva Mária, Telek Zsigmond, Péter Kristóf, Research-based teaching at Wigner Research Centre for Physics, *Canadian Journal of Physics*, 2020, 98(6): 588-592, <https://doi.org/10.1139/cjp-2019-0460>

Schramek Anikó, Néhány gondolat az atomfizika középiskolai tanításához, *Fizikai Szemle*, 2020/7-8

Elfogadva, nyomdában: Finta Zsanett, Jenei Péter, Schramek Anikó (2019), The subject of waves in a new approach introductory steps of a Design Based Research (DBR), *GIREP-ICPE-EPEC-MPTL 2019 International Conference, Budapest*

A tézisekhez kapcsolódó előadások

GIREP 2019 előadás, Schramek Anikó, Oláh Éva Mária, Research-based teaching at Wigner Research Centre for Physics, 2019. július 02. girep2019.hu/GIREP_ICPE_EPEC_MPTL_Conference_Abstract_Book.pdf 279. oldal

GIREP 2019 poszter Finta Zsanett, Jenei Péter, Schramek Anikó, The subject of waves in a new approach introductory steps of a Design Based Research