

FÉNYUTASOK

„Kvantumelektronika szakkör – lézeres barlang építése a gimnázium pincéjében”

Kilián Balázné Raics Katalin¹, Knoch Júlia², Kovács Bence Tamás², Lovász Boglárka², Mester Ádám², Póla Márton², Dr. Sánta Imre³, Szabó Dániel², Weisz Pál², Wensofszky Balázs²

¹tanár, Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma, Pécs, ²tanuló, Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma, Pécs

³PTE TTK Fizika Intézet

Magyarországon új lendületet kapott a lézerfizika a szegedi ELI szuperlézer építésével. Városunkban a Pécsi Tudományegyetem Fizikai Intézetében is komoly fejlesztőmunka folyik: az ELI egyetlen Magyarországon összeállított részegysége készül, a TeraHertz-es másodlagos fényforrás és spektrométer.

A pécsi Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziumában két évvel ezelőtt egy osztálynyi 11. évfolyamos diákkal lézeres akadálypálya építését céloztuk meg fizika szakkörön - a filmekben látható biztonsági rendszerekhez hasonló – a fizika előadóban. Délutánonként dolgoztunk a projekten, hosszú hónapokon keresztül. Lézer pointerekkel, saját kezűleg vágott fürdőszoba tükrökkel, sötétítő függönyökkel, füstölővel próbálkoztunk eleinte. A lézerlabirintus kialakításához végül megkaptuk az iskola pincéjét, mely tökéletesen sötét (optikai kísérletekhez kiváló), ráadásul igazán vadregényes helyszín.

A PTE Fizikai Intézet lézerfizikusa, Dr. Sánta Imre (az ELI egyik kezdeményezője) lézeres tükröket és pozícionálható tükrőtartókat ajándékozott nekünk, illetve sok hasznos tanáccsal látott el minket. Kölcsönkaptunk egy füstgépet is. Innentől kezdve felgyorsultak az események. Közel 40 diák több héten keresztül tartó szorgalmas munkájának köszönhetően az iskola pincéjében kiépítettünk egy ideiglenes akadálypályát. A diákok megismerték a gyakorlatban a lézerfény tulajdonságait és a visszaverődés törvényeit. Megtanultak lencséből teleszkópot építeni, hogy a lézernyaláb párhuzamos legyen. Elsajátították az együttműködést, hiszen ha az egyik nyaláb elmozdult, nem jutott fény a másik tükrőhöz, amit csak közösen tudtak orvosolni. Kitartást tanultak, mert nap mint nap újra be kellett állítaniuk a nyalábutakat. Kreativitásuk fejlődött a labirintus kiépítése során. Megtanultak takarékoskodni és költségtervet készíteni, hiszen a lézermutatókban levő elemek hamar lemerültek, ezért akkumulátorokat és töltőket vásároltunk. Fénydetektorokat is építettünk, melyek sípoló hanggal jelezték a nyaláb megszakítását. A diákok felöltöztették a pincét csontvázakkal és borzalmas, ijesztő zenével, hogy kellően maradandó élményt nyújtson a látogatás.

Az elkészült ügyességi akadálypályán már a 2015-ös Lajos napon (a gimnázium diáknapja) több száz diáktársuk ment végig. Évről évre fejlesztésekre került sor a pincében (világítás, vészvilágítás és érintésvédelemmel ellátott konnektorok, újabb fényforrások, optikai és elektronikai játékok). Mindig akadt az iskolában legalább egy osztálynyi lelkes és kitartó diák, aki az akadálypálya kiépítésének hosszas munkálataiban folyamatosan részt vett.

A projektet újragondoltuk Sánta Imre docens úrral és az iskola vezetésével: célul tűztük ki egy véglegesen kiépített lézerbarlang berendezését az optika alapjelenségeit bemutató interaktív installációkkal, valamint számítógép vezérelte lézeres kép- és hang effektusokkal. A barlang tehát optikai, hangtani és elektronikai kísérletek színtere lesz.

2016. őszén „Kvantumelektronika” névvel szakkört hirdettünk, melynek feladatköre a lézeres barlang kiépítése tudományos szempontból komoly alapozással, ismeretbővítéssel, mérnöki és kutatói attitűdök kialakításával. A szakkört ketten vezetjük, Dr. Sánta Imre egyetemi docens és jómagam (Raics Katalin). A kis kutatócsoportunk feladata és tevékenysége messze túlmutat a középiskolás tananyagon.

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma által indított Útravaló Ösztöndíjprogram, Út a tudományhoz alprogram (Támogatás kódszáma: UT-2016- 0041) ezévi pályázatán 750.000 forintot nyert az iskola ennek a szakkörnek a támogatására.-Ebből június végére rendeztük be a barlangot úgy, hogy az év bármelyik napján üzembe tudjuk helyezni az optikai, illetve elektronikai installációkat.

A barlangban a lézerlabirintus mellett helyet kapott és kap több más kísérleti elrendezés is, mely a fizika órán megtanultakat hivatott elmélyíteni, illetve túlmutat azokon. A továbbiakban ezek bemutatására kerül sor szakkörös diákjaink tollával, akik bemutatták, elmagyarázták az egyes kísérleteket. (Raics Katalin, Dr. Santa Imre)

I. LÉZERLABIRINTUS (WEISZ PÁL, 11. C)

Mi ez? – Lézer akadálypálya: A játék célja, hogy úgy kell eljutni a pince egyik végéből a másikba, hogy ne szakítsuk meg egyik fénysugár útját sem. A lézert természetesen a falra szerelt precíziós tükrökkel sok helyen eltérítettük, hogy minél nehezebb legyen végrehajtani a feladatot. A fénysugarakat füstgép segítségével tettük láthatóvá. Az általunk használt vörös és zöld színű nyalábokat a mennyezetre rögzített pormentesen záródó dobozból indítottuk, és a pálya végéről visszavezettük a dobozba. Itt egy saját tervezésű és építésű érzékelő áramkör figyel, hogy megszakadt-e valahol a fénysugár. A doboztól UTP kábelből készített kommunikációs csatorna fut a fal mellett található – szintén saját készítésű – vezérlőpultig, mellyel az egész berendezés működése irányítható.

Miért van erre szükség? – Biztonsági rendszer: Ezek a lézerek nem kimondottan nagy teljesítményűek, 50 mW-osak (50 mW megközelítőleg annak felel meg, mintha egy ceruzaelemet leejtenénk a földre 1 cm magasról, azaz a ceruzaelem helyzeti energiáját osztanánk az út megtételéhez szükséges idővel). Tehát ha elé tennénk, mondjuk egy papírlapot, az nem gyulladna meg. Viszont ha közvetlenül belenézünk, maradandó károsodás érné a szemünket. Ennek oka, hogy szemünk a párhuzamos fénysugarakat a retinára fókuszálja, ahol a teljesítménysűrűség – egységnyi felületre jutó teljesítmény – nagyobb, így már képes lesz roncsolni a szöveteket. Ennek elkerülésére készült a biztonsági áramkör, mely a fényforrást kikapcsolja, ha valamilyen tárgy a sugármenetet akadályozza. Az ember fejének bármelyik része előbb ér a fény útjába, mint a szeme, így mire lehetősége lenne közvetlenül belenézni, már nincs ott a fénysugár.

Hogyan működik? – Kezelési útmutató: Amikor valami miatt megszakad a lézersugár, az érzékelő fotodióda áramvezetési képessége megváltozik és egy SR flipflopnak nevezett logikai tárolót töröl. (Ez a digitális áramköri elem két állapot „megjegyzésére” képes, attól függően, hogy a legutolsó művelet beállítás vagy törlés volt, a kimeneten logikai 1 vagy 0 érték jelenik meg, tehát bekapcsolja-e a lézert vagy sem). Ennek hatására a lézer kikapcsol és kigyullad a vezérlőpanelen található piros színű LED. Ahhoz, hogy ismét működjön a berendezés, először el kell távolítani az akadályt, majd a vezérlőpanelen újra kell indítani a lézert. A gombot megnyomva zöld színű LED jelzi a „memória” beállítását. A lézer bekapcsol és a szakadást jelző piros LED elalszik. Ebből az irányítóegységből kettő is található a vezérlőpulton, mivel a két különböző színű lézert egymástól függetlenül lehet vezérelni. A vezérlőpulton egy tesztüzem-kapcsoló is található, melyet zárva a lézer akkor sem alszik ki, ha akadály került az útjába, a visszajelző zöld LED folyamatosan világít, a piros LED pedig itt is a fénysugár megszakadását jelzi. Ennek a funkciónak a nyaláb pontos beállításakor van szerepe.

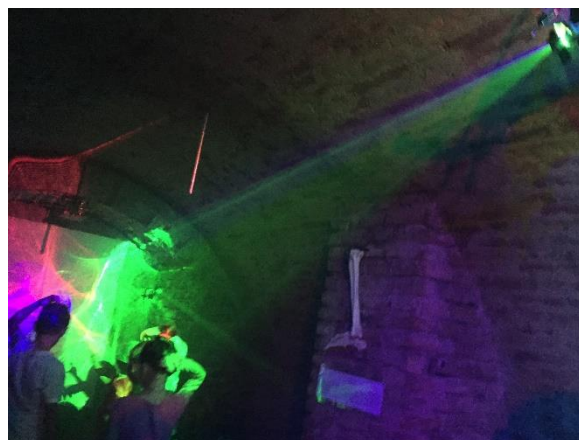


1. ábra: Lézerlabirintus

(A fotót Szabó Zsolt 11. D osztályos tanuló készítette)

II. FÉNYINTERFERENCIA - A fény is lehet szétszóró (Szabó Dániel 10. E)

Három különböző színű lézert (vörös, kék, zöld) elhelyeztünk egymás mellé. A lézerek elé raktunk egy motor által forgatott katedrálüveget. Ezeket betettük egy műanyag dobozba és felerősítettük a mennyezetre. UTP kábel segítségével irányító pultról működtettük a ki- és bekapcsolást, valamint innen kapta az áramot is. Amikor a lézerek fénye elhajlott a katedrálüvegen, akkor jól lehetett látni, hol oltják ki és hol erősítik fel egymást a hullámok. Látványos háromszínű mintázatot látunk a falon, ami az üveg forgása miatt folyamatosan mozog, változik. Az elhajlás jelensége jól kimutatható volt úgy is, hogy hajszálat megvilágítottunk egy lézermutatóval.



2a.) és b.) ábra Forgó katedrálüveg, mögötte a lézerek



2.c) ábra A három színben játszó elhajlási mintázat (A fényképet Szabó Zsolt 11.D. osztályos tanuló készítette.)

III. A fény egyenesen halad (amikor józan) – FÉNYELHAJLÍTÁS (Kovács Bence Tamás 10. C)

A fény általános iskolai tanulmányaink alapján egyenes vonalban terjed. Ám most a fénytörés jelenségének és egy vízzel töltött hosszú üvegtartálynak a segítségével garantáltan meginog a hitünk eme állítás igazságában! Amint belenézünk a tartályba, azt láthatjuk, hogy a benne haladó teljesen átlagos lézersugár pályája nem a megszokott módon viselkedik. A fénysugár ívesen elgömbülve a tartály aljának csapódik, mikor kiindulási pontjában még párhuzamosan halad a tartály alsó lapjával. De nem kell aggódni, nem az oktatási rendszer hibája ez, és a fizikával sincsen semmi probléma. Eme jelenség magyarázata egyszerű. A tartályban lévő folyadék nem tiszta víz, hanem egy oldat (ebben az esetben cukoroldat). Az oldat koncentrációjában van egy gradiens. (Ez egy igen jól hangzó szó, és azt jelenti, hogy egyenletesen mértékben változik, vagyis a tartály felső részében a cukor koncentrációja szinte nulla, az alsó részében a pedig nagyon nagy). Amennyiben ismerjük a fénytörés jelenségét, tudjuk, ha a fény közeget vált, megtörik egy bizonyos szögben, amelyet az adott anyag törésmutatója határoz meg (és egy része visszaverődik). A mi esetünkben viszont, miközben a fény halad az oldatban, annak koncentrációja változik, így (mivel a cukros víz törésmutatója nagyobb, mint a tiszta vízé) a törésmutató is folyamatosan változik. Ez azt eredményezi, hogy a fénysugár ívesen elhajlik az oldatunkban. Úgyhogy; csak ne ijedjünk meg, hanem élvezzük a fizika nyújtotta csodákat!

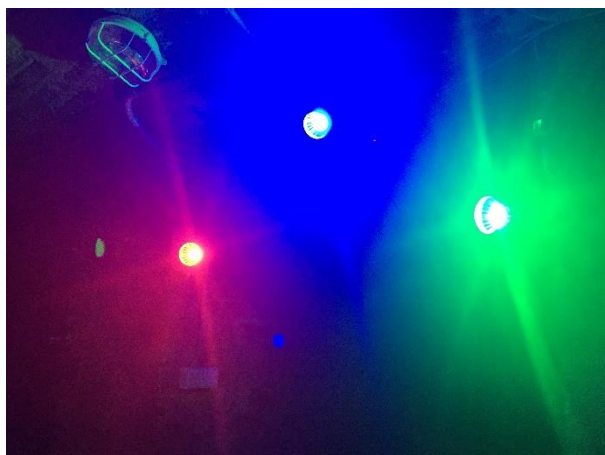


4. ábra A fény útja elgörbül

IV. SZÍNÖSSZEADÁS ÉS SZÍNKEVERÉS

A kevert mindig jobban üt, mint a tiszta (Lovász Boglárka 11. D)

Három különböző színű lámpának (kék, zöld és piros) egy lepedőre vetítettük a fényét. A lámpákat úgy rögzítettük a falhoz, hogy fényük a lepedőn metszse egymást. Azért kék, zöld és piros színűek, mert ezek az alapszínek, melyekre az emberi szem a legérzékenyebb. Minden szín, amelyet a szemünkkel látunk, ennek a három színnek a különböző arányú kombinációja, tehát a színkeverés során valójában mindig ezt a három színt alkalmazzuk. Ha az egyik színt kitakarjuk, akkor a másik kettő összegét fogjuk kapni (pl. zöld kitakarása esetén piros + kék = lila lesz). Ez az összeadó/additív színkeverés, amelyben ha színes fénysugarakat összekeverünk, az eredmény egy kevert fénysugár lesz. Ebben az emberi szem számára az egyes komponensek nem választhatók szét.





5. a.) b.) c.) ábra Fényforrások és színes árnyékok

Ha a lepedő elé tettük a kezünket, három különböző színű árnyékot láthattunk, egy türkiz, egy lila és egy sárga színűt. Ezt azért láthattuk, mert ahol a kezünk véletlenül kitakarta egy pontban az egyik színt, ott a másik kettő összeadódott és így lettek a színes árnyékok. A türkiz színű árnyék a kék és a zöld eredménye, a lila színű a kék és a piros keveréke, a sárga pedig a zöld és a piros eredménye. Ha két fényforrást (színt) kitakarunk, az árnyék fekete. Ahol mind a három folt fedésben van, ott fehérnek látjuk a fényt.

V. Szivárványmodell (Póla Márton 9. B)

„Nézz a szivárványra, s dicsérd alkotóját, káprázatosan szép a pompájában. ¹²Átfogja fényével az égboltozatot, a Magasságbeli keze feszítette ki.” (Sirák fia, 43. fejezet.)

A kísérleti elrendezés egy fehér fényű lámpából és egy gömb alakú akváriumból állt. A lámpa fényét az akváriumra irányítottuk. Az akvárium - mint egy vízcsepp - felbontotta a fehér fényt a szivárvány színeire, ami egy kicsit távolabb lévő fehér vászonra vetült. Ha a lámpára lencsét rögzítettünk, akkor a szivárványnak csak egy szelete látszott. Ha lencse nélkül világítottunk az akváriumra, akkor - bár kicsit halványabban - a szivárvány teljes egészében pompázott, kör

alakban.



6. ábra a.) és b.) A szivárványmodell

VI. Lissajous-görbék (Knoch Júlia 12. A)

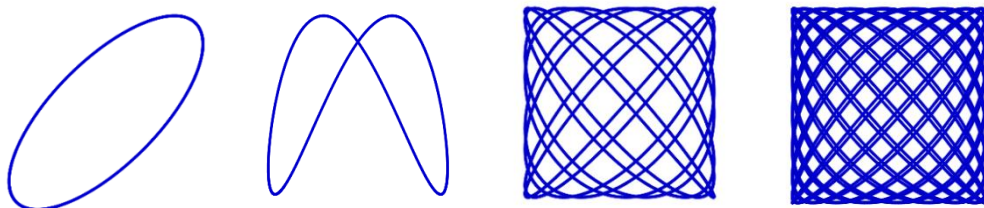
A környezetünkben minden mozog, rezeg. A különböző rezgések hatással vannak egymásra. Ha a rezgések párhuzamosak egymással és azonos frekvenciájúak, akkor erősítik, illetve gyengítik, kioltják egymást; ezt nevezzük interferenciának. Ha viszont a rezgések egymásra merőlegesek, akkor is megfigyelhető egy érdekes jelenség: szuperpozíciója speciális, ún. Lissajous-görbét eredményez. A Lissajous-görbék megjelenése elsősorban a két rezgés frekvenciaarányától függ: ha az arány irracionális, a görbe nem tér vissza önmagába, ha viszont racionális, akkor zárt lesz. Minél kisebb egész számokkal írható fel a két frekvencia aránya, annál egyszerűbb lesz a görbe és annál hamarabb tér vissza önmagába.

A kísérletben a két egymásra merőleges rezgést két egymásra merőleges forgó tükör biztosította, melyeket szkennermotorok mozgattak. Ezek rá voltak kötve egy-egy függvénygenerátorra, így egymástól függetlenül változtathattuk a tükrök mozgásának frekvenciáját. A két rezgés összeadása úgy történt, hogy az egyik tükröt megvilágítottuk lézerrel (405 nm-es ibolya), ami visszaverődve a másik tükröre esett, és onnan is visszaverődött. Innen a lézer ki lett vetítve egy foszforeszcens ernyőre, ami elnyelte az ibolya fényt, és hosszabb hullámhosszú zöld fényként bocsátotta ki.

Először kis frekvenciájú szinuszjeleken mutattuk be a jelenséget (1-10 Hz). Ezen a nagyságrenden a kivetülő lézerpötty mozgása lassú volt, a foszforeszcens ernyőn jól lehetett követni a görbe kirajzolódását.

A következő a 80-200 Hz-es tartomány volt. Itt már a lézerpötty mozgása olyan gyors, hogy a kirajzolt görbe összefüggőnek látszik. Ezen a tartományon a frekvenciaarányok még jobb szemléltetésére egy hanggenerátort kötöttünk a két függvénygenerátorra. Először kis számok arányára mutattuk be a jelenséget. Két, egyformán 100 Hz-es jel esetén a kirajzolódó görbe ellipszis volt (7. a ábra) és két egyforma hangot hallottunk. Növelve az egyik frekvenciát, 1:2 aránynál (100 Hz; 200 Hz) a görbe a 7. b ábrához hasonló lett, és a hangköz oktáv volt. 8:9 (160 Hz, 180 Hz) aránynál már disszonáns hangközt: nagy szekundot kaptunk, és az előzőeknél jóval összetettebb görbét (7. c ábra). Ha pedig a hangközünk „hamis” volt, akkor még bonyolultabb görbe lett (7. d ábra).

Ezután a diákok maguk is kipróbálhatták a függvénygenerátorokat állítva, hogy pontosan hogyan is változik a görbe. (Itt már levettük a hangot, mert mindenkit nagyon idegesített.)



7. ábra Lissajous görbék a.) 1:1 b.) 1:2 c.) 8:9 frekvencia arányok és d.) hamis hangköz esetén



8. ábra Lissajous-görbék előállítása

VII. Vizsgálatok hőkamerával – látni a láthatatlant

(Wensofszky Balázs és Mester Ádám 8. A)

„Az ég büszkesége a fényes boltozat, az Úr dicsősége ragyog fenn az égen. ²A Nap, ha felragyog, ezt hirdeti: „Mily csodálatosak a Magasságbeli művei!” ³Déli magasáról perzseli a földet, ki tudja ilyenkor hevét elviselni? ⁴A fűtött kemence égeti az embert, de háromszor jobban a Nap a hegyeket. Izzó sugarakat lövell ki magából, tüze elkápráztatja a szemet. ⁵Nagy az Úr, aki teremtette, szava irányítja gyors száguldását.” Sirák fia könyve, 43. fejezet

A feladatunk az volt, hogy megmutassuk különböző testek hőmérsékletét és annak eloszlását. A hőkamera működési alapja az, hogy minden olyan test elektromágneses sugárzást bocsát ki, amely melegebb az abszolút 0 foknál, azaz -273°C -nál. Ennek jelentős része az emberi szem által nem látható, kb. $8\text{-}15\mu\text{m}$ hullámhosszúságú infravörös tartományba esik a $-40^{\circ}\text{C} \dots +800^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletekre. Ez a „fény” a láthatótól speciális anyagból készített optikával jól elválasztható. Érzékelése piciny (~ 20 mikron méretű) félvezető hőmérőkből kialakított pixel-detektorral történik (pl. 512×512). A hőkamera elektronikája és programja a szokásos fényképezőgépekhez hasonlóan jeleníti meg a hőmérsékleteloszlást kép formájában különböző színekkel az eltérő hőmérsékletű tárgyakat/felületeket. Ezt nevezzük termográfiának. Minél magasabb egy tárgy/felület hőmérséklete, annál több infravörös sugarat bocsát ki az említett tartományban.

Készülékünkkel demonstrálni tudtuk, hogy ha például a kezünket egy hidegebb felületre (egy felfüggesztett lepedőre vagy egy polcra) helyeztük és ott tartottuk pár másodpercig, akkor az ujjaink és a felület beálltak egy a környezetnél magasabb átlaghőmérsékletre. Így a kéz elvétele után annak „hőlenyomata” kimutatható volt a felületen. Bemutattuk továbbá a víz párolgásának hőigényét a kezünk segítségével és megmagyaráztuk, hogy a víz a testünkkel való érintkezési pontjairól nyer hőt, hogy halmazállapotot váltson. Vagyis lokálisan lehűlt a testfelület. Interaktívabb játékunk volt az, hogy a pince legalsó részében elrejtettünk hideg és meleg tárgyakat (forró vízzel töltött palack, alufóliába tekert $1,5$ voltos elem, jégakku, jégkockákkal teli tartó) és ezeket kellett teljes sötétségben megkeresniük az érdeklődőknek a hőkamera segítségével, ezzel is kimutatva azt, hogy az eszköz sugárzás alapján mér.

Összefoglalás

A kis létszámú szakköri csoportban folyó munka pályaorientációs célzatú is. Szeretnénk ablakot nyitni diákjainknak a tudományos kutatásra és a műszaki tudományokra az ehhez szükséges alapok, tapasztalatok biztosításával.

A lézeres barlang egy különleges színfolt az iskola életében. A diákok számára egy olyan hely, ahová nem léphetnek be bármikor, mert titkos, zezugos úton kell oda eljutni, ami mindig izgalmas. Egy pince, ahol sötét van és mégis világos! Nem egy készen kapott játéktér, hanem a diákokkal közösen kigondolt, megtervezett és kialakított barlang, mely megteremtése során az odavezető munka öröme és haszna legalább olyan izgalmas és tanulságos, mint majd a végeredmény használatbavétele. A hely mérete és szelleme természetesen magában hordozza távlatilag a folyamatos munkálkodás és újabb ötletek kialakításának lehetőségét.

Az egész projektben pedig mindvégig benne rejlik a játék, ami vonzóvá teszi az amúgy komoly elméleti alapozást és gyakorlati megoldások nehézségét. Remélem, hogy az iskolai lézeres projekt résztvevői közül lesznek olyan fiatalok, akik nem csupán műszaki és természettudományos irányba tanulnak tovább, hanem akár a lézerfizika művelőivé is válnak, az ELI munkatársai lesznek. Legalább ilyen fontos, ha bárhová kerülnek az életben, a természettudományok iránti érdeklődésük megmarad.

Támogatási konstrukció neve: Útravaló Ösztöndíjprogram Út a tudományhoz alprogram 2016/2017. tanév

Támogató: Emberi Erőforrások Minisztériuma

Támogatáskezelő: Emberi Erőforrás Támogatáskezelő

Projekt címe: „Kvantumelektronika szakkör – lézeres barlang építése a gimnázium pincéjében”

Támogatás kódszáma: UT-2016-0041

Elnyert támogatás összege: 750.000 Ft

Támogatott időszak: 2016. október 1. - 2017. június 30.



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA



EMBERI ERŐFORRÁS
TÁMOGATÁSKEZELŐ



ÚT A TUDOMÁNYHOZ