

RENDRHAGYÓ FIZIKAÓRÁK: KÍSÉRLETES FOTONIKAI BEMUTATÓK

A SZENT-GYÖRGYI ALBERT AGORA –
SZTE INFORMATORIUMBAN





Egy bemutató interaktív része

A DEAK Zrt. szervezésében, a TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0058 számú, „Hétköznapi Tudomány” c. projekt keretében számos, a fotonika témaköréhez kapcsolódó rendezvényre került, illetve kerül sor 2013 januárja és 2014 decembere között. A fotonikának - azaz a fényt kibocsátó, vezető és detektáló elemekkel foglalkozó ágazatnak - napjainkban rendkívül széles körű alkalmazásaival találkozhatunk: a telekommunikáció és az informatika mellett feltétlenül meg kell említeni a műszaki, anyagtudományi és gyógyászati alkalmazásokat is.

A projektben tett vállalások fő célja a fotonika témaköréhez tartozó alapismeretek, valamint a szerteágazó alkalmazások és azok működési hátterének a nagyközönséggel való megismertetése volt. A kapcsolódó rendezvények gerincét a látványos kísérleti bemutatókkal gazdagított rendhagyó fizikaórák jelentették, amelyeket a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének oktatói és PhD hallgatói tartottak rendszeres jelleggel a Szent-Györgyi Albert Agora SZTE Informatoriumában. A rendhagyó fizikaórákat általános, illetve középiskolás osztályok tekinthették meg előzetes regisztrációt követően. E kiadvány elkészültéig több mint harminc bemutató foglalkozáson összesen csaknem 800 diák vett részt.

A bemutatók egyik nem titkolt célja, hogy felkeltse a fiatalok érdeklődését a természettudományos és műszaki tudományok irányába. Sajnálatos módon - főként anyagi okok miatt - napjaink általános és középiskoláiban a fizika oktatásában a kísérletek bemutatása háttérbe szorult. Pedig, véleményünk szerint, éppen a természeti jelenségek bemutatásával lehetne a diákok érdeklődését felkelteni, és az elméleti részeknek célt és értelmet adni. Ezen a hiányosságon próbáltunk a rendelkezésünkre álló eszközökkel segíteni. A bemutatók során a diákoknak lehetőségük volt a kísérleteket közelről megsejmelni, és akár interaktív módon változtatni azok beállításán. Örömeinkre szolgált, hogy a bemutatókra sok osztály regisztrált és a bemutatók interaktív részén jó volt látni a sok érdeklődő diákot. A bemutatókat követően számos pozitív visszajelzés érkezett a diákok és az osztályokat kísérő pedagógusok részéről, így reméljük, hogy céljainkat részben sikerült elérni.

A továbbiakban szeretnénk egy rövid összefoglalót adni a bemutatókon látható kísérletekről, és néhány fényképpel feleleveníteni a bemutatók hangulatát. A rendhagyó fizikaórákon a fotonika alapjainak tekinthető optika tárgyköréből mutattunk be kísérleteket. A fotonika jelentős szerepet töltött be az elmúlt évtizedekben lezajlott informatikai forradalomban. A fénytani és fotonikai ismeretek nélkül

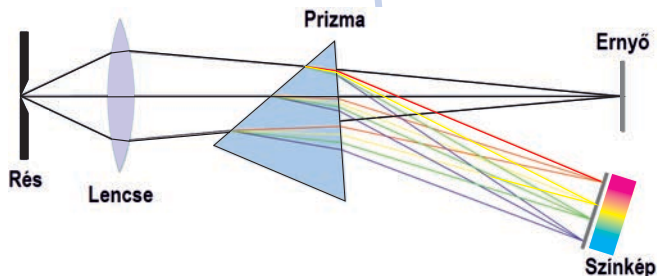
a napjainkra már az otthonunkban, sőt az okostelefonunk segítségével már az utcán és a tömegközlekedési eszközökön is megszokottá vált az

internet és az ezzel rendelkezésre álló lehetőségek elképzelhetetlenek lennének.

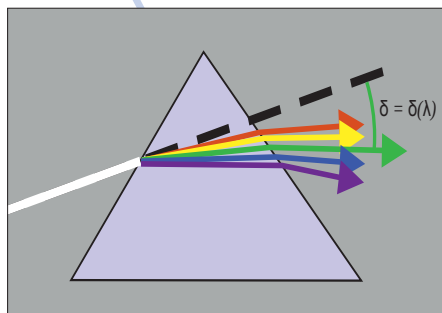
OPTIKAI SZÍNKÉP ÉS SZÍNKEVERÉS

Ha egy fehér fényrel erősen megvilágított keskeny rés képét egy lencsével létrehozzuk, majd közvetlenül a lencse mögé egy optikai prizmat helyezünk, akkor az ernyőn egy lát-

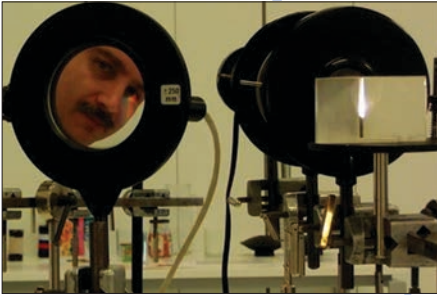
ványos fényjelenség, az ún. *színekép* (vagy *spektrum*) jön létre, melyet az esőcseppek által létrehozott szivárványban is megcsodálhatunk.



A jelenséget úgy értelmezhetjük, hogy a fehér fénynyalábot alkotó, egymást átfedő azonos irányban terjedő különböző színű fénynyalábokat a prizma a színtől függő mértékben téríti el. Legkisebb eltérítést a vörös összetevő, míg a legnagyobb eltérítést az ibolya összetevő szenvedti el. Ez alapján a színekép tulajdonképpen nem más, mint a megvilágított keskeny rés különböző színű – a vörstől az ibolyáig – egymás mellett felsorakozott képeinek az összessége. A jelenség azonban nem csak szép, hanem a gyakorlati alkalmazása miatt különösen fontos, ugyanis a fényt kisugárzó vagy elnyelő anyagok rájuk jellemző, egyedi színeképpel ren-



delkeznek. Ennek megfelelően a bemutatott jelenségen alapuló *spektroszkópia* különösen fontos anyagvizsgálati módszer, melynek segítségével az anyagok azonosíthatók. A bemutató során megmutattuk, hogy a spektrum színek tovább már nem bonthatók.



A színek újra egyesítésére szolgáló homorú tükör (balra) és a színek bontását létrehozó prizma (jobbra)

Ezt követően a spektrum színeit egy homorú tükörrel ismét egy helyre összegyűjtve az ernyőn fehér foltot nyerünk, amely azt igazolja, hogy a fehér fény valóban a spektrumban lévő színek összeadásával áll elő. Ha az összeadásnál egy színt (keskeny spektrális tartományt) kihagyunk, akkor eredményül a kihagyott szín kiegészítő színét kapjuk. Például, ha egy sötét kartonpapírcsíkkal a homorú tükör előtt a vörös színt kizárjuk, akkor az ernyőn kékeszöld színt kapunk, amely a vörös kiegészítő színe. A látogatók interaktív kísérlettel tanulmányozhatták az *additív színkeverést*, három alapszínű

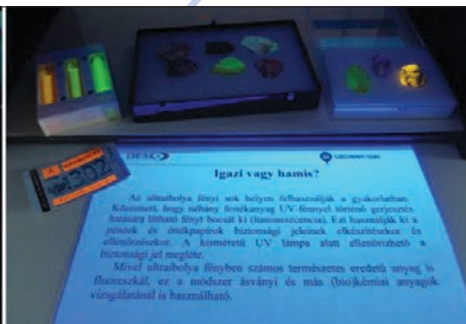


Az additív színkeverést tanulmányozó diákok

- vörös, zöld és kék – fényt sugárzó LED-ek segítségével. A LED fényének intenzitása egyenként szabályozható. A három LED fényét egy lencse segítségével gyűjtjük össze.

Fényérzékeny detektorral megmutattuk, hogy a színek két oldalán, a vörös előtt és az ibolyán túl, ahol szabad szemmel fényt nem látunk már, a detektor energiát mutat ki. Vagyis ezeken a helyeken olyan sugárzás van jelen, melyet a szemünk már nem érzékel. Ezek az infravörös illetve az ultraibolya sugarak. Mind az *infravörös* (IR), mind az *ultraibolya* (UV) sugárzással kapcsolatban kísérletet láthatott a hallgatóság. A *látható fényre* átlátszatlan fekete kerámiabögrén az infravörös sugarakra érzékeny kamera átlát, így a PC képernyőjén megjelenített kameraképen láthatjuk a mögé helyezett gyertya fényét. Az UV-lámpa által kisugárzott ultraibolya fénybe helyezett kristályok a beeső sugárzást elnyelik, és az elnyelt energiát látható fény formájában sugározzák ki, melyet szabad szemmel megfigyelhetünk.



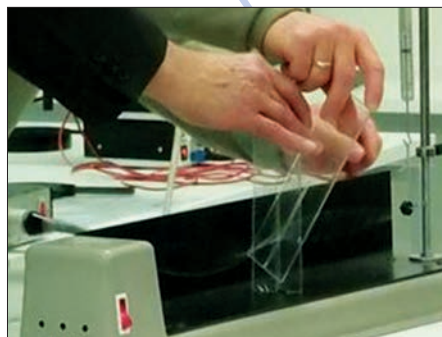


POLARIZÁCIÓS KÍSÉRLETEK

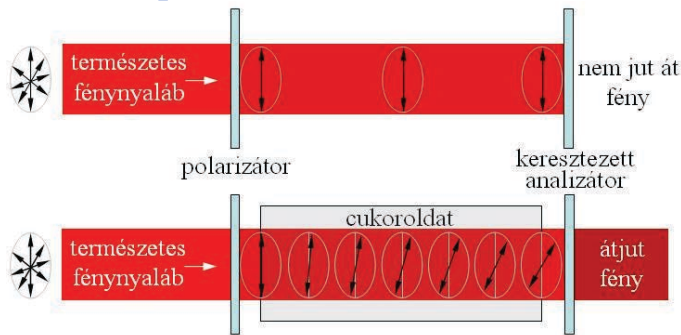
A színén kívül a fénynek egy másik fontos tulajdonsága, hogy polarizálható. Ez azt jelenti, hogy a terjedési irányon kívül a nyalábban található kitértett irány. A polarizálhatóság a fény transzverzális természetét igazolja. A fény polarizációjának sok fontos gyakorlati alkalmazása van, például ilyen az *ellipszometria*, amely szintén egy fontos anyagvizsgálati módszer. A fény polarizációján alapul például a mozikban vetített 3D-s filmek által nyújtott élmény és a 3D-s TV működése is. A térlátáshoz szükséges két – a bal és a jobb – szem számára vetített kép polarizációs állapota különbözik egymástól. A képeket a szemünk elé helyezett *polarizátorral* választjuk szét.

A bemutataton a polarizációt gumi-szálon terjedő hullámmal szemléltettük. A szál egyik végét egy motorral egyenletesen egy kör mentén moz-

gatva, a szálon egy ún. *körben poláros hullám terjed*. Ha a hullám útjába egy keskeny rést helyezünk, akkor a rés mögött a fonál már csak rés és a terjedési irány által meghatározott síkban mozoghat. Az ilyen hullámot *síkban poláros* hullámnak nevezzük. Ha rés mögé egy másik rést helyezünk az előzőre merőlegesen, akkor a második rés mögött már nem figyelhetünk meg hullámot. Az első rést



Polarizációs jelenségek szemléltetése kifejlesztett szálon terjedő hullámmal.



polarizátornak, míg a második rést *analizátornak* szokás nevezni. Ez utóbbival a polarizátor által létrehozott síkban poláros hullám polarizációs állapota vizsgálható. Bemutattuk a kísérlet optikai analógját: keresztetett polarizátor-analizátor páron a fény nem jut át. Azonban, ha közéjük cukoroldatot tartalmazó, átlátszó tartályt helyezünk, akkor a fény – bár gyengítve, de - átjut az analizátoron. Az analizátort kissé elforgatva ismét kioltható az analizátor mögötti fény, ami azt mutatja, hogy az oldatból síkban poláros fény lép ki, de a polarizáció síkja elfordul a terjedés során.

A jelenséget *optikai aktivitásnak* nevezik, és segítségével az oldat koncentrációja megmérhető. A cukorhoz hasonlóan az átlátszó ragasztószalagnál

használt anyag is optikailag aktív. Így keresztetett polarizátorok közé betett írásvetítő fóliára ragasztott, átlátszó ragasztószalagcsíknál a fény átjut. Mivel a polarizációs sík elforgatása függ a színtől, fehér fényt használva az átjutó fény színes lesz. Az analizátor forgatásával az átjutó fény színe változik.

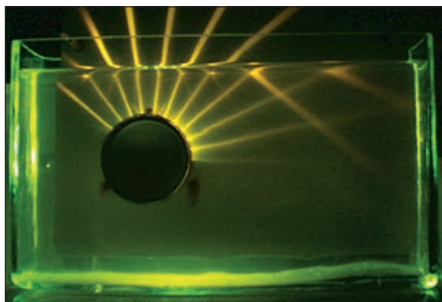


Átlátszó ragasztószalagcsík optikai aktivitását tanulmányozó látogatók.

TELJES VISSZAVÉRŐDÉS

Ha terjedése során a fény olyan háttárfelülethez ér, amelyen áthaladva a fénysebesség növekszik, azaz optikailag *sűrűbb* közegből lép az optika-

ilag *ritkább* közegbe, akkor a kilépő fénysugár nagyobb szöget zár be a beesési merőlegessel, mint a belépő fénysugár. Vagyis a törési szög na-



Fénytörés és teljes visszaverődés víz-levegő határfelületen.

gyobb, mint a beesési szög. Amennyiben a beesési szög meghalad egy bizonyos, határszögnek nevezett értéket, akkor azt láthatjuk, hogy a fény nem hatol be az optikailag ritkább közegbe. Ekkor a határfelület egy ideális (100%-os reflexiós tényezőjű) tükörként viselkedik. Ennek a *teljes visszaverődésnek* nevezett jelenségnek nagyon fontos gyakorlati alkalmazásai vannak. Ezen az elven működnek az *optikai szálak*, melyek nélkül napjaink gyors telekommunikációs és számítógépes adatátvittele elképzelhetetlen lenne. Az optikai szál egy –

MIRASZKÓP

A fény terjedése során az optikai szempontból eltérő tulajdonságú anyagokat szétválasztó határfelületen visszaverődés, illetve törés lép fel. Mindkét jelenség megváltoztatja a beeső fénysugár terjedési irányát. Ezen a jelenségen alapul számos fontos optikai eszköz, mint például az egyszerű nagyító, mik-



Plexi-levegő határfelületen fellépő fénytörést vizsgáló diákok.

magnak nevezett – nagy törésmutatójú átlátszó anyagból készült vékony hengeres szálból, és az ezt koaxiálisan körülvevő, kisebb törésmutatójú, ugyancsak átlátszó anyagból készült *köpenyből* áll. A magba bizonyos beesési szögnél kisebb szögbe belépő fénysugár a magköpeny határfelületén fellépő teljes visszaverődés miatt a magban marad, és így a 100%-os reflexiós tényező miatt a fénysugarak gyengítés nélkül verődnek vissza, amelynek következtében a fényjelek nagy távolságokat képesek befutni a szál magján belül.

roszkóp, távcső és fényképezőgép működése is. A látott tárgyak látszólagos irányát a szemünkbe érkező fénysugarak iránya határozza meg. Mivel a fénytörés, illetve a visszaverődés megváltoztatja a fényterjedési irányát és a sugarak egymáshoz viszonyított szögét, egy tárgyat vizuális optikai eszközön

keresztül szemlélve a valódi helyétől teljesen eltérő helyen és az eredetitől különböző méretben láthatjuk.



Ezen a jelenségen alapul a miraszkóp-nak nevezett optikai játék működése. A miraszkóp két, egymással szembefordított homorú tükörből áll. A felső tükör közepén egy kör alakú, néhány centiméter átmérőjű nyílás van. Az alsó tükör aljába egy kisméretű tárgyat helyeznek el. Ha oldalról a felső tükrön lévő nyílás irányába nézünk, akkor a nyílás felett lebegve látjuk az alsó tükör alján elhelyezett tárgyat. Ha az ujjunkkal odanyúlunk, akkor a tárgyat nem tudjuk megfogni, hiszen valójában a tárgy a tükör alján van. Valójában a tárgynak a tükrök által létrehozott képét látjuk csak. A kép létrejöttét a következőképpen magyarázhatjuk: a *tárgy* egy pontjából elinduló fénysugarak, elérve a felső tükröt, arról visszaverődnek. Ezután a visszavert fénysugarak, elérve az alsó tükröt, erről is visszaverődnek, majd ezt követően áthaladnak a kör alakú nyíláson, úgy, hogy egy - a nyílás felett lévő - ponton haladnak keresztül. Ez a pont az adott tárgypont *képe*. A kiterjedt kép úgy jön létre, hogy a tárgy minden pontjáról, az előzőleg ismertetett módon, létrejön a neki megfelelő kép.

Érdeemes megjegyezni, hogy a miraszkóp esetén látott háromdimenziós kép létrejötte jelentősen különbözik a



hologramok által alkotott képtől. Hologram esetén a kép megfigyeléséhez a tárgy jelenlétére nincs szükség! A tárgy csak a hologram készítésekor van jelen. A hologramot fénnel megvilágítva, a fényelhajlás és interferencia következtében valójában magát a tárgyról kiinduló fényhullámot rekonstruáljuk. Így a rekonstruált tárgy hullám terjedési irányával szembe nézve a tárgyat látjuk, pedig az valójában nincs is jelen. A miraszkóp esetén a tárgy a tükör alján fizikailag is jelen van. A tárgyról kiinduló fényhullám terjedési irányát a tükrökön való visszaverődések megváltoztatják, ezért a valóságos helyéhez képest máshol látjuk.



A miraszkóp működését tanulmányozó diákok

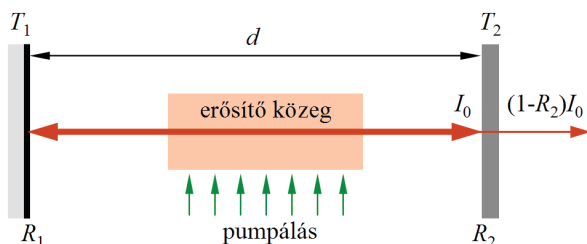
LÉZEREK ÉS BIZTONSÁGI BESOROLÁSUK

Napjaink optikai kísérleteinek kedvelt fényforrásai a lézerek. A fénypolarizációval és a fénytöréssel kapcsolatos kísérletek bemutatásánál mi is ezeket használtuk. A lézerek mérete és ára olyan mértékben csökkent, hogy ma már szinte bárki könnyen beszerezheti ezeket. Sajnos sokszor sem az eladók, sem a vásárlók nincsenek tisztában a lézertípusok tulajdonságaival és használatuk veszélyeivel. Ezért tájékoztatásul szólnánk néhány szót a lézerekről.

A lézer az angol **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation kifejezésből alkotott **L**ASER mozaikszó magyar változata. Az angol kifejezést *fényerősítés kényszerített sugárással* magyar kifejezésre fordíthatjuk le. Eből látható, hogy a lézer tulajdonképpen egy *fényerősítő*. A lézerben található egy fényerősítő, úgynevezett *aktív közeg*, amelyben az atomok vagy molekulák többsége *gerjesztett* állapotban van. Ha egy gerjesztett atomot vagy molekulát megfelelő tulajdonságú fény ér, akkor az a magasabb energiaszintről egy alacsonyabb energiaszintre kerül, és közben a beeső fényvel azonos tulajdonságú fényt sugároz ki. Azt ilyen fénykisugárzási me-

chanizmust szokás *indukált emisszió*nak nevezni, mivel a sugárzást egy külső sugárzás kényszeríti ki. A kisugárzott fény a beesővel azonos tulajdonságú. Ezért a beeső fény és a kisugárzott fény interferenciára képes, más szóval *koherens*. Mivel a hullámok fázisai megegyeznek, az interferenciájuk erősítést eredményez. A megszokott fényforrásaink, például az izzólámpa vagy a fénycső más módon, az úgynevezett *spontán emisszió* útján sugározzák a fényt. Ekkor az elemi fénykibocsátások teljesen véletlenszerűek, egymáshoz nem szinkronizáltak. Ezért ezek fénye nem képes interferenciára, azaz *inkoherens*. A szokásos fényforrások és a lézerek között a fő különbség a fénykibocsátás módjában van. A szokásos fényforrások általában spontán emisszió útján, míg a lézerek kényszerített emisszióval sugároznak.

Hogy a fényerősítés mértéke nagyobb legyen, az aktív közeget tükrök közé szokták tenni. Az aktív közeg és a tükrök együtt alkotják az úgynevezett *rezonátort*. A tükrökön létrejövő visszaverődések következtében a fény többször oda-vissza áthalad az aktív közegen, minden áthaladáskor tovább erősödik. Egy át-



A lézer-rezonátor vázlata

haladás során persze mindig csökken a gerjesztett atomok vagy molekulák száma, amelynek következtében az erősítés csökken. Ebből látható, hogy a fénynyaláb nem erősödhet minden határon túl. Az erősítéshez az atomok vagy molekulák többségének gerjesztett állapotban kell lennie. A fényerősítés folyamatosságához a gerjesztett atomokat vagy molekulákat valamilyen mechanizmussal folyamatosan biztosítani kell. Ezt valamilyen külső energiaforrással, például a lézeres pointereknél a ceruzaelemmel biztosítjuk.

A rezonátorból kilépő fénynyaláb *széttartása* (idegen szóval divergenciája) kicsi, ezért a nyaláb energiája a még forrástól távolban is kicsi térrészre koncentrálódik. Ez az egyik lényeges tényező a lézerek veszélyességével kapcsolatban. A lézernyaláb hullámhossza általában egy szűk tartományban helyezkedik el, ezért a spektruma gyakorlatilag egyetlen színképvonalat tartalmaz, más szóval monokromatikus. Vagyis a nyaláb energiája spektrálisan egy szűk tartományra korlátozódik. Ezért a lézerefény különösen alkalmas bizonyos atomok vagy molekulák gerjesztésére, illetve a kémiai kötések felbontására. Ezért érthető, hogy a szemünkben található fényérzékeny sejteket könnyen roncsolhatják, amely maradandó látáskárosodással járhat. Így a lézerből kilépő nyalábbal nem árt óvatosan eljárni, és betartani a rá vonatkozó biztonsági előírásokat.

Biztonsági szempontból a lézer berendezéseket a következő osztályokba szokás sorolni:

- Az 1. osztályba tartozó berendezések a szemre veszélytelenek.
- A 2. osztályba tartozó berendezések sugárzási teljesítménye legfeljebb 1 mW.

Mivel az ilyen lézerek teljesítménye kicsi, a szem pislogási reflexe megvédi a retinát a károsodást okozó expozíciótól.

- A 3A osztályba mérsékelten veszélyes berendezések tartoznak. A nyaláb legnagyobb sugárzási teljesítménye legfeljebb 5 mW lehet és a felületre vonatkozó teljesítménysűrűség nem haladhatja meg a 25 W/m^2 értéket. A pislogási reflex ilyen körülmények között is megóvjá a szemünket a károsodástól, de csak akkor, ha a fény nem optikai eszközön keresztül kerül a szemünkbe.
- A 3B osztályba tartozó eszközök közepeesen veszélyesek. Ezekre a nyaláb sugárzási teljesítménye legfeljebb 500 mW lehet. Ez a teljesítmény már elegendő a szem károsodásához. A károsodás mértéke jelentősen függhet az expozíció idejétől.
- A 4. osztályba tartozó berendezések sugárzási teljesítménye meghaladja az 500 mW-t. Ilyen teljesítmények mellett már nem csak szem-, hanem bőrkárosodás is létrejöhet.

A 3A, 3B és 4-es osztályú berendezéseket csak kiképzett személyek üzemeltethetnék. A 2-es, 3A, 3B és 4-es osztályba tartozó berendezéseknél a nyitott nyaláb utakat lehetőleg kerülni kell. Ha ez nem lehetséges, akkor lehetőleg a nyaláb a szemmagasság alatt vagy felett haladjon és olyan védelem szükséges, amely megakadályozza a közvetlen nyaládba való nézést. Ezeknél a berendezéseknél a szemet védő szemüveggel kell védeni.

Érdemes megjegyezni, hogy a távokéleti lézeres mutatók sokszor a 3B osztályba tartoznak, ezért legyünk ezek használatánál rendkívül óvatosak!



Összeállították:

Dr. Horváth Zoltán, Dr. Szalai Tamás

(SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék)

Dr. Tóth Zsolt

(SZTE Orálbiológiai és Kísérletes Fogorvostudományi Tanszék)

Szent-Györgyi Albert Agora – SZTE Informatorium

www.informatorium.hu

www.facebook.com/informatorium

SZÉCHENYI 



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE