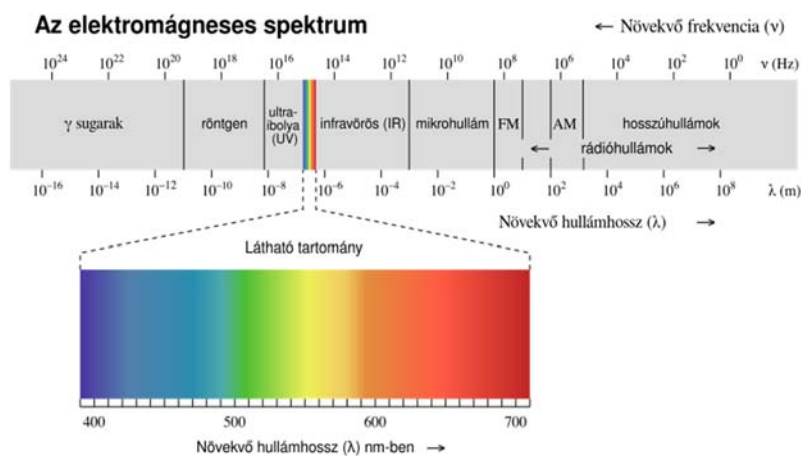


## Lézerek dióhéjban az Adyban

Nem mindennapi élmény volt a bukaresti Ady Endre Líceum soros szerdai bemutóján részt venni 2014. január 15-én. A lézerek működése és felhasználási lehetőségei címmel tartottak kísérletekkel szemléltetett előadást Domonkos Balázs és Dr. Hámori Krisztián, a budapesti RK Tech cég munkatársai. A vetített bemutató anyagát előadás után a rendelkezésünkre is bocsátották, ebből szemelgetve igyekszem mihamarabb élménybeszámolót nyújtani a téma iránt érdeklődő kedves olvasóknak.

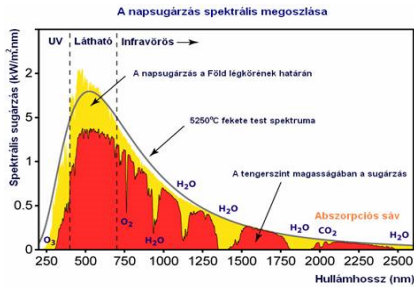
Az előadást, mint házigazda, Dr. Bencze Mihály az Ady Endre Líceum igazgatója és matematika tanára nyitotta meg, majd a köszöntő után át is adta a szót az előadóknak. A bemutatkozásból megtudtuk, hogy Hámori Krisztián fizikatanári szakot végzett 2002-ben Budapesten az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen (ELTE), majd a Debreceni Tudományegyetemen szerzett doktori címet 2006-ban, míg Domonkos Balázs a Szegedi Tudományegyetemen (SZTE) biofizika szakot végzett 2010-ben.

Hámori Krisztián a lézerfénynek, mint elektromágneses sugárzásnak a kettős természetére emlékeztetett már a bemutató kezdetén. Az elektromágneses sugárzásnak e kettős hullám-részecske természetéből a fény hullám jellege nyilvánul meg fényalábok találkozásánál, valamint a fénynek optikai ráccsal való kölcsönhatásakor. Az elektromágneses hullám egyik jellemző mennyisége a hullámhossz, amit a  $\lambda$  (lambda) görög betűvel jelölünk, és mértékét rendszerint nanométer (nm) egységben fejezzük ki, tudva, hogy  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ . A látható fény hullámhossz-tartománya meglehetősen szűk az elektromágneses sugárzások teljes spektrumához viszonyítva. Ezen a látható tartományon belül az elektromágneses sugárzások színérzetet keltenek a szemben, hullámhosszuktól függően az ibolyától a vörös színig (kb. 380-760 nm), amint azt az 1. ábra mutatja.

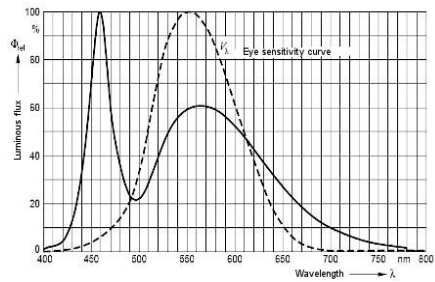


1. ábra

Az elektromágneses spektrum. Kinagyítva a színpompás látható tartomány



2. ábra  
A Nap sugárzásának a spektruma

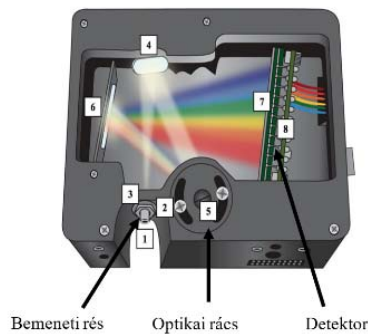


3. ábra  
Fehér LED spektruma. Szaggatott vonal jelzi a szem spektrális érzékenységi görbéjét, melynek maximuma a zöld tartományba esik

Érdekes volt látni a Nap sugárzásának spektrumát (2. ábra), valamint egy fehér színt adó LED spektrumát (LED = Light Emitting Diode/fényt kibocsátó dióda) (3. ábra). Ilyen fehér fényt kibocsátó LED található például mobil telefonokban és laptopokban, újabban elemlámpákban vagy köztereket megvilágító lámpatesteken is.

*Kísérleti bemutató* következett, amikor lézerdíódák (mutató pointer) monochromatikus zöld és vörös fényeinek (x,y) optikai rácson való áthaladását követő interferenciáját láthattuk négyzethálós pontok formájában. Megfigyelhettük, hogy azonos rácossal és azonos kísérleti távolságoknál, a vörös és a zöld fények interferencia-maximumai különböző távolságokra keletkeztek egymástól a vetítőernyőn, valamint a kedvezőbb fényviszonyok miatt a plafonon.

Következett a spektrométer felépítésének szemléltetése (4. ábra). Itt megjegyzendő, hogy a 4-es és 6-os részek tükrök, amelyeknek csak fénysugarat terelő szerepük van, lehetővé téve, hogy a spektrométer kisebb méretű legyen. A spektrométernek a szíve az optikai rác. A rác bontja szét összetevő színeire a bemeneti résen kapott (itt épp fehér) fényt, amit majd egy megfelelően beállított tükör a detektorra vetít, amit majd a számítógépben a spektrométert vezérlő program értékeli ki, és jeleníti meg a képernyőn (pl. 3. ábra).



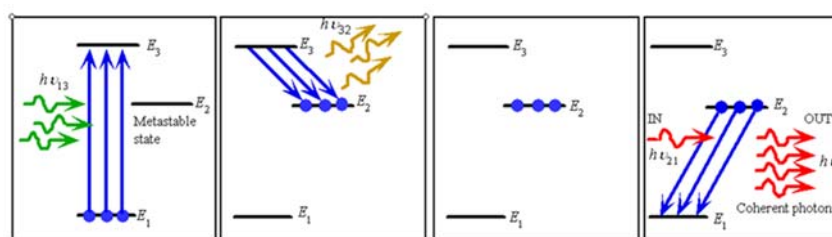
4. ábra: Egy spektrométer felépítése

Újabb kísérlet következett, amelyben a laptop-hoz csatlakoztatott *Ocean Optics* mini (kb. 4 x 4 x 1,5 cm) spektrométerrel Balázs és Krisztián kimérték és rögzítették a telefonjuk fehér LED fényének spektrumát, majd három lézerciódát fényét. A lézer fény egyik meghatározó tulajdonsága, hogy a hozzá tartozó elektromágneses hullámmalában csak egymáshoz nagyon közeli, gyakorlatilag szinte azonos hullámhosszú sugarak terjednek. Ezért látszik egy lézersugár egyszínűnek, monokromatikusnak. Ilyenek voltak ebben a kísérletben az ibolya (405 nm), a zöld (532 nm) és a vörös (635 nm) színű lézerciódák fényei is, amelyek szűk spektruma rendre, látványosan, a fehér LED spektrumának a két szélén, valamint a közepén jelentek meg.

Domonkos Balázs folytatta a bemutatót, úgy tekintve a fényt, mint fotonok (részcsekék) sokaságát. Részcseke jellegével nyilvánul meg a fény, amikor különböző anyagokkal (atomokkal, molekulákkal) lép kölcsönhatásba. Az atomok és molekulák elektronszerkezetét úgy is tekinthetjük, mint közvetítő rendszer, ami lehetővé teszi és közvetíti ezt a kölcsönhatást. Az elektronszerkezet különböző energiaszintek szerint szervezett és különbözőképpen töltődik fel elektronokkal. Gerjesztetlen állapotban (termikus egyensúlyban), az alacsonyabb energiaszinteken több elektron található, a nagyobb energiájú szinteken pedig kevesebb. Megfelelő hullámhosszú fényvel való gerjesztéskor elektronok „pumpálhatók” fel a magasabb szintekre, ahonnan a gerjesztés megszűntével visszatérnek alap-állapotukba, a két szint különbségének megfelelő energiát pedig kisugározzák a környezetükbe.

Különleges viselkedése bizonyos anyagok gerjesztett állapotban levő elektronrendszerének, hogy ha a gerjesztett rendszert megfelelő energiájú fotonokkal világítjuk meg, akkor úgynevezett stimulált (vagy kényszerített) emissziót kapunk, amikor minden bejövő fotonra két foton fog távozni azonos energiával, iránnyal és fázissal. Egyszóval felerősített sugárzást nyerünk. Ezt foglalja össze a lézer jelenség angol megnevezése is, mint *Light amplification by stimulated emission of radiation*, amiből rövidítésként maga a *laser* szó ered.

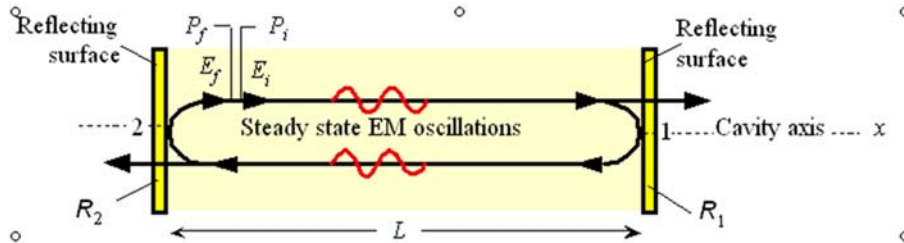
Az előző fogalmak és jelenségek ismerete közelebb visz a lézer működési mechanizmusának a megértéséhez (5. ábra). Mivel a gerjesztett szinten olyan rövid ideig tartózkodnak az elektronok, hogy nem lehet őket onnan kontrolláltan legerjeszteni, szükségesnek bizonyult egy köztes (metastabilis) energiaszint használata, ahová a gerjesztési sugárzás megszűntével a gerjesztett elektronok „visszaesnek”, de elegendően hosszú ideig „ülnek ott” (metastabilis szint) ahhoz, hogy egy másik, megfelelő hullámhosszú sugárzással, stimulált emissziót indukálhassunk. Így, ha  $n$  elektront tudunk a metastabilis szintre juttatni, akkor  $(n+1)$ -szeresen erősödik fel a stimuláló sugárzás, amint kilép a rendszerből.



5. ábra

*A három energiaszintes lézer működési mechanizmusa*

Következik, hogy egy lézer felépítéséhez szükséges egy *lézeraktív közeg* (ami lehet szilárdtest, gáz vagy folyadék), egy *rezonátor* (a lézerfény erősítéséhez szükséges *optikai üreg*), valamint *gerjesztő eszközök* (villanólámpa, vagy egy másik lézer).



6. ábra  
A rezonátor, vagy optikai üreg elvi felépítése

A rezonátor lehetővé kell tegye, hogy benne elektromágneses állóhullámok alakulhassanak ki. Ez komoly kihívást jelent a visszaverő tükröfelületek minőségére nézve, valamint a tükröfelületek közötti távolság megőrzésére, hullámhossznyi pontossággal.

A lézernyalábok előnyei, hogy monokromatikusak, jól fókuszálhatóak és nagy a felületegységre viszonyított teljesítmény-sűrűségük. Klasszikus fényforrásokhoz képest kb. 200-szor hatékonyabbak energetikai szempontból.

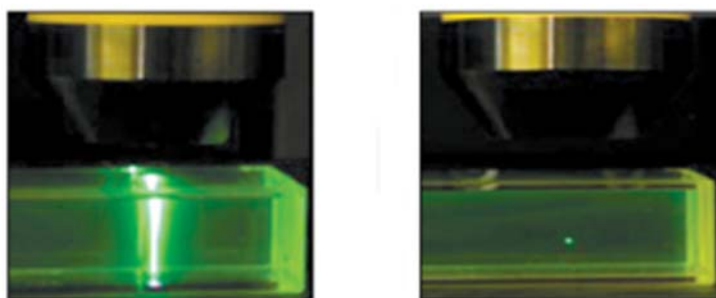
A lézerek alkalmazásai közül Krisztián megemlítette a **lézeres távolságmérést** (Föld-Hold távolságot is lehet mérni a Holdon elhelyezett tükrök segítségével), a **LIDAR lézer-radart** (pl. felhőrendszerek követésére), a **lézeres hegesztést és fűrést**, a **lézeres gravírozást és vágást**. A **LIPS** (Laser-induced plasma spectroscopy) módszer hatékonyan alkalmazható a kohászatban, meg az újrahasznosítási iparágakban, mivel egy anyag felületén lézerrel létrehozott mikroplazma spektrumának csúcsai jellemzőek az illető anyagra. A **Raman spektroszkópia** is lézerfényt használ egy felület, egy minta elemzésére. A mintáról megváltozott hullámhosszal vissza-szórt lézer sugarat spektrométerrel rögzítik. A hullámhosszbeli változások eloszlása (angolul “Raman shift”) a minta anyagának molekuláira ujjlenyomatszerűen jellemző. Anyag-meghatározásra így kiválóan alkalmas módszer. Ma már létezik tenyérnyi méretben is, ami terepmunkákhoz nyújt nagy segítséget (7. ábra).



7. ábra  
Raman spektrométer – tenyérnyi méretben

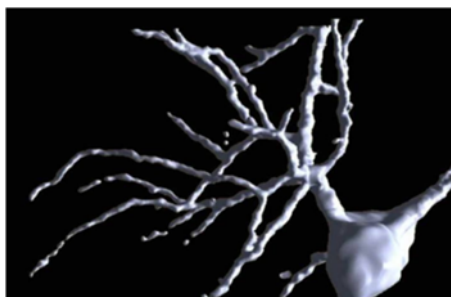
Balázs bemutatta továbbá a **kétfoton mikroszkópia** módszerét, amelyben

- a rövid lézerpulzus → nagy fotonsűrűség → a célmolekulát egyszerre két, jellemzően infra foton tudja gerjeszteni;
- ezek frekvenciája összeadódik (frekvenciakétszereződés=hullámhossz feleződés) → a megfigyelhető fluoreszcencia fele akkora hullámhosszú, legtöbbször a spektrum zöld tartományában;
- a vörös gerjesztő fény mélyebben jut a szövetbe és kevésbé szóródik;
- a hagyományos mikroszkópiával ellentétben itt egy jól meghatározott fókuszpontban jön létre a gerjesztés, az azt körülvevő szövetben nem, így roncsolás sem tapasztalható;
- a lézer hullámhossza hangolható, így különböző fluoreszcens festékek gerjeszthetők vele a minta igényeinek megfelelően.



8. ábra

*A kétfoton mikroszkópia szemléltetése (a jobb oldalon)*



9. ábra: Idegsejt az agykéregből - kétfoton mikroszkópiával és speciális számítógépes programmal készült rekonstruált kép

A bemutató végen szó esett a hazai két nagy lézeres beruházásról is, amelyek jelenleg kivitelezési folyamatban vannak Măgurelen, Bukarest mellett. Ezek a beruházások a CeTAL (Centrul de Tehnologii Avansate Laser) valamint az ELI (Extreme Light Infrastructure) projektekként ismertek.

A hallgatóság köréből több kérdés és hozzászólás is elhangzott, olyannyira, hogy a végén már-már „alig akartunk hazamenni”.

Örömmel tapasztalt rendhagyó jellege volt ennek az előadásnak, hogy a diákokon és tanárokon kívül, a bukaresti magyar közösség érdeklődő tagjai is meghívót kaptak rá, és aki tehetett el is jött. Köszönjük a tanári kar tagjainak is, hogy támogatták ezt a típusú rendezvényt. Sok sikert hozzá, ha még szerveznek ehhez hasonlókat a következő időszakban is!

### **Köszönet**

A budapesti RK Tech cég fő tevékenysége lézerek és egyéb márkás (Newport, Oriel, Spectra-Physics) optikai eszközök forgalmazása a régiókban. Tudjuk azt is, hogy külföldetben az idő mindig drágább, mint otthon. Ezért kiemelt köszönetet mondunk Domonkos Balázsnak és Dr. Hámori Krisztiánnak, hogy időt szakítottak a részünkre ezt az átfogó és naprakész szép előadást összeállítani és bemutatni az Ady Endre Líceumban. Köszönjük Dr. Kovács Lászlónak is, az RK Tech igazgatójának, hogy ennek a bemutatónak a gondolatát már a felmerülésétől kezdve támogatta.

Bukarest, 2014. január 19-én

**Dr. Lőrinczi Ádám**

## **Miért lettem fizikus?**

### I. rész

*Rovatunk célja bemutatni a kolozsvári BBTE Fizika Karának tanárait, akik segítenek majd megérteni a fizika csodálatos világának rejtelmét azoknak, akik szeretik a fizikát, és egyetemi tanulmányaik célja a természettudományok ezen ágának mélyebb megismerése.*



Első interjúalanyunk *Dr. Neda Zoltán*, a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetem Fizika Karának professzora, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizika Doktori Iskolájának társult egyetemi tanára, valamint – 2007-től – a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja. Több tudományos kitüntetés, díj tulajdonosa. Csak néhányat említsünk meg: Ifjúsági Bolyai Díj (vezető tanár) MTA 2003; Ştefan Procopiu-díj, Román Tudományos Akadémia 2004; A Kolozsvári Akadémiai Bizottság Teleki József díja, az Erdélyi Tudomány Mestere kategória, 2013; Az OTDT Mestertanári aranyérme, 2013.

### ***Mi adta az indítást, hogy a fizikusi pályára lépj?***

Már nagyon korán, azt hiszem, öt-hat-hetedikben eldöntöttem, hogy fizikus leszek. Ez annak tulajdonítható, hogy apukám is fizikus volt, megszerettette velem az érdekes fizikai kísérleteket. Ugyanakkor nagy szerencsém volt az iskolában, mert olyan fizikatanárom volt, Tellmann Jenő, aki tényleg úgy tudta tanítani a fizikát, hogy meg is értsük. A matematikatanáraim is olyanok voltak, Kürthy Katalin és Libál Iona és anyukám, akiktől olyan értékes alapot kaptunk, hogy az egyetemen probléma nélkül megálltuk a