

*Szent-Györgyi biofizikáig vezető útja,
a tudományágak határainak elmosódásáról,
a kutatáshoz használt műszerekről,
a paprikacentrifugától a szuperlézerekig*

Amióta rektorkodásra adtam a fejem, azóta hozzászoktam ahhoz, hogy mások szabják meg a programomat, sőt, most már ahhoz is hozzá kell szoknom, hogy mások adják a címet az előadásaimnak. Eredetileg úgy gondoltam, hogy mentegetőzéssel fogok kezdeni, mert ilyen bonyolult című előadást még sohasem tartottam. Aztán úgy döntöttem, hogy mégsem mentegetőzők, mert azt hallottam egy kiváló kollégámtól, hogy azért jött el, mert ilyen érdekes címet még nem látott. Így nem marad más hátra, ezt a tartalomjegyzéknek tűnő címet próbálom meg tartalommal kitölteni. Bevezetésül – és bizonyos mértékig magyarázatként is –, egy igazán autentikus ember szavait hallgassuk meg egy, az 1940-es évek elején készült rádiófelvételtől.

„Az én nagybátyám Lenhossék Mihály anyai részről, az is professzor volt, egy nagyon neves hisztológus – szövettan – a mikroszkópiai anatómiával foglalkozott, és ő uralta az én családban a szellemi irányzatot. Egy kis bajom volt a nagybátyámmal, mert ő egy nagyon koraérett gyerek volt valamikor, és azt hitte, hogy a kiválóság az mind nagyon koraérett, és én nagyon későn kezdtem fejlődni, úgyhogy a családban énrám, mint egy hülyére néztek általában. És amikor tizenöt éves koromban azt mondtam a nagybátyámnak, hogy én tudományos pályára akarok menni, akkor ő kézzel-lábbal tiltakozott és azt mondta, hogy legfeljebb kozmetikus lehetne csak belőlem. Aztán később javult a véleménye egy kicsit, és aztán beleegyezett abba, hogy fogász legyek. Aztán mikor elvégeztem a középiskolát, akkor megengedte, hogy a laboratóriumába jöjjek dolgozni. Aztán három évig dolgoztam anatómián, de ez nem elégített ki. Én az életet akartam látni, hogy micsoda, és átmentem élettanra, aztán bakteriológiával foglalkoztam – azok a baktériumok nagyon kicsinyek. Aztán rájöttem, hogy az egész világ egy olyan baktérium, az is nekem túlkomplikált volt, és aztán kezdtem én molekulákkal foglalkozni, és akkor kezdtem vegyész lenni. Akkor aztán rájöttem arra, hogy a molekula is nekem még túlkomplikált. Úgyhogy akkor kezdtem az elektronokkal foglalkozni, ami a molekulának egy nagyon kis része, s ez egy külön nagy tudományága a kvantummechanika vagy a hullámmechanika, amely az elektronokkal foglalkozik. S én már egész

ősz fejjel kezdtem az egész tudományággal foglalkozni, úgyhogy én tudományról tudományra mentem, hogy én már éreztem, hogy az élet az mindennek az összessége.”

Szent-Györgyi Albert szavait ezek, az ő gondolatai adják meg a vázlatát és gerincét ennek az előadásnak. Hozzáteszem, több világhírű kutatóval van hasonló nézetem. A mi szakmánk egyik pápája *Arthur Schawlow*, amerikai kutató, aki a 20. század végének legnagyobb spektroszkópusai közé tartozott, és 1987-ben kapott Nobel-díjat részben a lézerek felfedezéséért, szellemes mondása tökéletesen rímel Szent-Györgyire: *„nekem az a bajom a kétatomos molekulákkal, hogy azokban már egy atommal több van a kellenél”*. Egy fizikus számára egy nyúl az egy elképesztően bonyolult univerzum, a kétatomos molekula azon a határon van, hogy még talán bele merünk vágni. Az előbb hallottak szerint ez a gondolatsor sokkal régebben megfogalmazódott Szent-Györgyi Albertben. A továbbiakban először beszélni szeretnék nagyjából arról a gondolatmenetről, ami Szent-Györgyi Albertet az egyszerűbb felé vezette. Utána megnézzük, hogy mi köze van a lézereknek ahhoz a szubmolekuláris világhoz, amiről tulajdonképpen Szent-Györgyi Albert is beszélt mint célról, ahova el akart jutni. Zárásként két aktuális témát kísérek meg összekötni. Az idei évben teljesen jogosan nagyon sokat beszéltünk Szent-Györgyi Albertről, sokat a Szegeden épülő lézerközpontról, amelyek egymástól látszólag teljesen függetlenek. Remélem, hogy az előadás végén meg tudom győzni önöket arról, hogy nem is kell nagyon erőltetni azt, hogy ezek a témák összekapcsolódjanak.

Már 1941-ben, 4 évvel azután, hogy megkapta a Nobel-díjat (Szent-Györgyi Albert még itt dolgozik Magyarországon), megfogalmazza azt, hogy a molekulák közt a fehérjemolekulák azok a nagyon nagy, esetlen dolgok – persze most atomi méretekben kell gondolkoznunk –, amelyek nem adhatnak önmagukban magyarázatot az életjelenségek finomságaira.¹ Ezt ő akkor mondta, amikor mások épphogy csak rácsodálkoztak a fehérjemolekulákra, hiszen ekkor még a molekuláris szintű biológia nagyon-nagyon gyerekcipőben járt, és az egyik nagy lépést éppen a vitaminok felfedezésén keresztül Szent-Györgyi tette meg ebben az irányban. Fölveti Szent-Györgyi ugyanekkor azt a gondolatot is, hogy a fehérjék bizonyos körülmények közt vezetők lehetnek. Kicsit naivan úgy képzelte el, mint hogyha a fehérjék apró drótdarabkák lennének, amelyekben a mozgékony elektronok csinálnak valami fontosat, és igazából az életjelenségeknek az alapjait ezen a környéken kell keresni. *„A megfigyelések mindjobban halmozódnak, melyek arra mutatnak, hogy a biológiai reakciók*

¹ Szent-Györgyi, A., *Nature* (London), 148, 157–159, (1941)

*a közös elektronrendszerek zavarai, ami talán lehetővé fogja tenni nemcsak azt, hogy ezeket a reakciókat megértsük, de azt is, hogy őket a kvantummechanika képleteivel fejezhessük ki*² – írja 1947-ben. Hangsúlyozom, ez a gondolat annyira megelőzte korát, hogy abban az időben udvariasan fogalmazva is számárságnak tűnhetett, nem sokan tekintették használható sejtésnek.

1947-től Szent-Györgyi az Egyesült Államokba távozik, és akkor már első-sorban izomkutatással foglalkozik. (Az izomkutatást már Szegeden megkezdte, sőt: a legalapvetőbb eredményeit itt érte el. Az 1940-es évek elején a Szegedi Egyetem Orvosi Kémiai Intézetének Közleményei az izomkutatás nemzetközileg mértékadó forrását jelentették. A Szent-Györgyi, Straub és Banga nevéhez fűződő dolgozatokat³ még ma is idézik.^{4,5}) Fontos látni, hogy Szent-Györgyi igazából a kutatásainak a kezdetén is szeretett átlépni a tudományterületek határai között. Biokémikus létére az a furcsa szokása volt, hogy fizikusokat hívott saját laboratóriumába. Itt dolgozott például ultrahangkeltés témakörében az a *Szalai Sándor*, aki később a debreceni Atommagkutató Intézetnek a megalapítója és legendás igazgatója lett. Tehát az, hogy Szent-Györgyi a kutatásaiban már a társtudományokat igénybe vette, valójában a kutatásainak kezdetétől megfigyelhető.

Egyesült Államokba történt távozása után a Woods Hole-i Tengerbiológiai Laboratóriumban kezdett dolgozni, ahol némiképp csalódott. Ez részben azért lehetett, mert meghívói nem igazán tartották be ígéreteiket. Valószínűleg azonban szerepet játszott az is, hogy előzőleg Magyarországon Szent-Györgyi egyfajta celebritás volt. Ezt a Nobel-díja mellett annak is köszönhette, hogy a II. világháború alatt egy kicsit James Bondot játszott, elment Isztambulba tárgyalni egy angolszász orientációjú békekötésről, ami miatt egyik oldalról a Gestapo kereste, másrésztől viszont a finn háború támogatására ajánlotta a Nobel-díját, ami miatt meg a szovjetek keresték. (Azt hiszem, az a biztos ismérve annak, hogy valaki jó úton jár, hogyha minden szélsőség ellenségnek

² Szent-Györgyi Albert, *Az élő állapot*, Kriterion Kiadó, Bukarest (1973) 67. old

³ a) Banga, I. & Szent-Györgyi, A. *Studies from the Institute of Medical Chemistry University of Szeged*, Vol. 1 (ed. Szent-Györgyi, A.) 5–15 (S. Karger AG, Basel, 1941–1942)

b) Szent-Györgyi, A. (ed.) *Studies from the Institute of Medical Chemistry University of Szeged* Vol. 1 17–26 (S. Karger AG, Basel, 1942)

c) Straub, F. B. in *Studies from the Institute of Medical Chemistry University Szeged* Vol. 2 (ed. Szent-Györgyi, A.) 3–15 (S. Karger AG, Basel, 1942)

d) Straub, F. B. in *Studies from the Institute of Medical Chemistry University Szeged* Vol. 3 (ed. Szent-Györgyi, A.) 23–37 (S. Karger AG, Basel, 1943)

⁴ Celler, K. et al., *J. of Bact.* 195, 1627–1636 (2013)

⁵ Braun, P. et al., *Proteomics* 12, 1478–1498, (2012)

tekinti.) A szovjetek, ennek ellenére, a háború után tulajdonképpen be akarták vonni a magyar közéletbe. Eleinte ezt vállalta is, lelkes volt, de aztán rájött arra, hogy a szovjet rendszer nagyon sok jót nem fog hozni az országnak, ekkor elkezdett érdeklődni afelől, hogy milyen módon tudna az Egyesült Államokba áttelepülni. Ahogy említettem, Woods Hole-ban nem a jó irányban alakultak a dolgok. Olyannyira nem, hogy gyakorlatilag elfogyott a kutatásokra szánt pénze. Ekkor jutott nagy szerephez egy *Stephen Rath* nevű, magyar származású pénzember, aki jó anyagi feltételeket tudott biztosítani. Ez egy nagyon sikeres időszak volt Szent-Györgyi életének, hiszen 1954-ben megkapta a Lasker-díjat, 1956-ban az USA akadémiai tagjává választották, de ekkor már őt az izomkutatás mellett nagyon foglalkoztatta az a gondolat, hogy a molekuláknál kisebb részecskék milyen szerepet játszhatnak az élet alapvető jelenségeiben.

Az 1950-es évek elején megfogalmazta azt, hogy a rák keletkezése is valahogy az elektronok viselkedésével magyarázható. Ekkor kerültek az érdeklődésébe a szabadgyökök. Ezek a szabadgyökök olyan molekulák, amelyekben van egy párosítatlan elektron. Az elektronokról mai témánk szempontjából elegendő annyit tudni, hogy ők akkor nyugodtak, ha párosával vannak. Ha van egy olyan atom vagy molekula, amelyben egy elektronnak nincsen párja, akkor keres magának. Találnia kell tehát egy másik elektront, amiből következik, hogy ezek a szabad gyökök erősen reakcióképesek. Szabad gyökök a szervezetünkben jelen vannak természetes módon is, de bekerülnek különböző külső hatásokra. A szabad gyökök valóban sok galibát tudnak okozni a szervezetünkben, ezért szükség van valamilyen védelemre, erre szolgálnak az antioxidánsok, amelyek olyan molekulák, amelyek képesek szabad gyököt semlegesíteni. Egy ilyen antioxidáns volt a Szent-Györgyi által felfedezett C-vitamin, már csak ezért is nagyon nagy jelentőséget tulajdonított kezdettől fogva ennek a szabad gyök – antioxidáns kölcsönhatásnak. Az ő gondolkodásában ez is azt sugallta, hogy az elektronok háza táján körül kellene nézni.

Szent-Györgyi 70 éves kora után kezdett el kvantummechanikát tanulni, 60 éves kora környékén még csak beszélgetett olyanokkal, akik a kvantummechanikáról mondjuk egy kicsit többet tudtak. Aztán, 1960-ban egy nagyon lényeges könyvet publikált Szent-Györgyi, aminek az volt a címe, hogy „Introduction to a Submolecular Biology”. Ez nagyon sok szempontból meghatározó mű volt még akkor is ha azóta bizonyos dolgokat már meghaladott a tudomány, de az bizonyos, hogy nagyon sok lényeges gondolat van benne. Két részletet idézek ebből a könyvből. Az első gondolat: „*valami nagyon fontos, egy egész dimenzió hiányzik a gondolkodásunkból, amely nélkül [a problémák Sz. G.] nem kezelhetők*”, a másik a *töltéstranszfer*. A töl-

téstranszfer létét akkoriban nagyon sokan tagadták, hiszen első ránézésre a fehérjemolekulák jellemzően szigetelők, márpedig egy szigetelőben a töltések nem szoktak mozogni. A fehérjemolekulák elég ravasz dolgok, mert nagyon különbözőképpen viselkedik egy fehérjemolekula akkor, ha száraz, és akkor, hogyha nedves. A fehérjemolekulák már eleve nagyon bonyolult szerkezetek, és ehhez jön a kísérleti kutatóknak, fizikusoknak, vegyészeknek a rémálma, a víz. A víz az amúgy egy elég jó dolog, ha az ember szomjas, de a laborban szörnyű, mert mindig ott van, ahol nem kéne lenni. Minden anyag, amivel találkozunk, az vagy vizet nyel el, vagy vizet ad le, de pont akkor, amikor nem kellene. Egy vákuumrendszerben mindig van víz. Egyszerűen bemászik. Azt szoktam erre mondani, hogy mindenütt, például ebben a teremben is tökéletes vákuum van, csak tele van levegővel. A laborberendezések vákuumaiban ehhez képest még víz is van. Komolyabbra fordítva a szót, az, hogy valami nedves, vagy nem nedves, az nagyon megváltoztatja a tulajdonságait. Ugyanakkor Szent-Györgyi eredeti feltevése, hogy a száraz fehérjemolekula szigetelő, ami nedvesség hatására vezetővé válhat, egy sokkal bonyolultabb kérdés, amit kísérletileg igen nehéz eldönteni, ráadásul a vezetésnek sokkal bonyolultabb mechanizmusai is szerepet játszhatnak.⁶ A komplikációk nem kis részben már onnan erednek, hogy a nedvesítés során a vízmolekulák egy makroszkopikus fehérjemintában három formában is jelen lehetnek: mint szabad víz, a fehérjemolekulák által alkotott láncok meghatározott helyeihez kötődve és magukban a (fehérje)molekulákban. Az igazán fontos gondolat azonban nem a víz szerepe, hanem maga a töltéstranszfer, azaz a folyamat, hogy atomi értelemben nagyobb távolságra vándorolhatnak a töltések, tehát létezhetnek molekuláris méretű „villanyvezetékek”.

1970-re elfogyott Szent-Györgyi pénze, sőt nagyon kétségbeejtő helyzetbe került. Úgy nézett ki, hogy teljesen abbamaradnak a kutatásai. Ennek részben az is volt az oka, hogy Szent-Györgyi nem volt hajlandó „rendes” pályázatokat írni, de ekkorára már elmúltak azok a daliás idők, amikor még olyan egyszerű „proposal”-ok is működtek, mint a Warburg által 1921-ben benyújtott egyetlen sor: „Ich benötige 10000 mark” (10000 márkára van szükségem)⁷. Szerencsére 1971-ben egy nagy amerikai napilap interjút csinált vele, ahol elmondta azt, hogy tulajdonképpen neki van egy ötlete a rák gyógyítására. Szent-Györgyi jó kommunikátor volt, meggyőzően tudta előadni gondolatait, és egyúttal elmondta azt is, hogy nincs pénze ezekre a kutatásokra. Az interjú hatására fölhívta *Salisbury*, egy washingtoni jogász, aki azt kérdezte, hogy adna 25

⁶ Rosenberg, B., *Nature*, 193, 364–365, (1962)

⁷ Koppenol, W.H., Bounds, P.L., Dang, C.V., *Nature Reviews Cancer* 11, 325–337, (2011)

dollárt a kutatásokra, hova lehet adományokat küldeni. Szent-Györgyi azt mondta, hogy küldje el az intézetnek. Ezt ő meg is tette, ami után Szent-Györgyi írt neki egy köszönőlevelet. Ezen annyira elcsodálkozott ez a meglehetősen gazdag washingtoni ügyvéd, hogy elkezdett utánajárni, hogyan lehetséges az, hogy ő 25 dollárt ad – mint ahogy ilyen adományokat nagyon gyakran szoktak az USA-ban adni az emberek –, és ezt egy Nobel-díjas egy hosszú levélben neki megköszöni. Utánajárva a dolgoknak rájött arra, hogy valóban nagyon nehéz a helyzet. Ezért egy professzionális adománygyűjtési akciót indított, és megalapították a National Foundation for Cancer Research nevű szervezetet, amiben innentől kezdve élete végéig Szent-Györgyi dolgozott, illetve ez pénzelte Szent-Györgyinek és másoknak a kutatásait. Azt lehet mondani, hogy azokat a kutatásokat, amelyek Szent-Györgyit a biológiából a fizika felé vezették, már tisztán ez a szervezet finanszírozta. Maga Salisbury is részt vett a munkában, elnöke volt ennek a szervezetnek.

Az 1970-es évek közepétől fogva Szent-Györgyi kapcsolatba kerül *Ladik Jánossal*. Ladik János egy kiváló kvantumkémikus, majdnem kiszaladt a számon, hogy fizikus. (Ez jó példa arra, hogy a tudományterületek összemosódása nem új keletű. A Schrödinger-egyenletet fizikusok találták ki, és ők is szokták megoldani. Ha azonban egy molekula szerkezetét akarja kiszámolni valaki – ekkor is a Schrödinger-egyenletre van szükség –, akkor általában ezt már kvantumkémiának szokás nevezni. Ez ráadásul a hagyományok alapján változik egyetemről egyetemre. Szegeden a tantárgy, amikor én hallgató voltam, molekulafizika néven futott, a Műegyetemen pedig kvantumkémia volt a címe, mert aki a tárgyat előadta, így nevezte el.) Ladik János kiváló kvantumkémikus, aki korán elkezdte finomítani azokat a gondolatokat, amelyeket Szent-Györgyi fölvetett. Az eredeti felvetés, hogy a molekula úgy vezeti az elektront, mint egy drótcsonka, azért elég naiv dolog. Persze megfelelő fizikai alapokról a problémát körül lehet járni, és ki lehet dolgozni az elméletét. Az ábrán lehet látni például egy levelet, amit Ladik Jánosnak írt Szent-Györgyi Albert, amiben arra kéri Ladik Jánost, hogy írjon egy néhány oldalas összefoglalót az elektromos vezetés úgynevezett sávmodelljéről egy félig ismeretterjesztő könyvbe, amin akkor dolgoztak. Itt van egy másik levél. Ez nekem azért tetszik nagyon, mert úgy kezdődik, hogy *„egy olyan kérdéssel kezdeném, ami buta kérdésnek tűnhet”* – minden tiszteletem kifejezése mellett azt kell mondanom, hogy Szent-Györgyinek ebben a sejtésében is igaza volt. A kérdésből az is látszik, hogy a kvantummechanika tanulása nem volt zökkenőmentes, mert bizony a bizonytalansági relációt, amire itt hivatkozik, eléggé félreértette Szent-Györgyi. Ezzel azonban ő maga is tisztában volt. *„A korábbi időszakokban, valahányszor egy új irányvonalat elkezdtem, mindig volt rá reményem, hogy elsajátítom a terület*

csínját-bínját. A kvantummechanikával nem ez a helyzet...⁸ – írja 1960-ban. Ami azonban az igazán figyelemre – és tiszteletre – méltó, az az, hogy valaki valóban nekiáll 70 éves korában egy teljesen új és nem könnyű diszciplínát az elejétől megtanulni csak azért, mert úgy gondolja, hogy a felvetett probléma megoldásához erre szüksége van. Még ha a részleteket illetően érték is kudarcok Szent-Györgyit, egy nagyon fontos dolgot itt is megsejtett. Szegeden 2003-ban szerveztek egy konferenciát Csizmadia professzor és munkatársai, amelynek konferenciafüzetében Szent-Györgyinek azt a mondását idézik – bizonyára nem véletlenül –, ami mindezt megfogalmazza. Szent-Györgyi azt ugyanis írta (éppen a korábban már említett a szubmolekuláris biológia könyvében) *„The distance between those abstruse quantum mechanical calculations and the patient bed may not be as great as belived”,* azaz *„Lehet hogy a távolság a betegágy és a nehezen érthető kvantummechanikai számolások között nem is olyan nagy, mint gondoljuk”.* Én azt gondolom, hogy ez bizonyos értelemben a modern tudományoknak alapvető ismérve. Nagyon sokszor nagyon elvont és ezoterikus számolásokkal dolgozunk, de ezek egyre gyakrabban elég közel vannak a gyakorlati alkalmazásokhoz. Nagyon lerövidült a távolság a vadonatúj tudományos eredmények és a mindennapi élet eszközei között.

Nézzük meg azt, hogy a Szent-Györgyi-féle felvetés hol tart most. Egy, a közelmúltban született összefoglaló cikk,⁹ arra a konklúzióra jut, hogy igen, létezik egy olyan jelenség, ami ugyan részleteiben különbözik Szent-Györgyi eredeti elképzeléseitől, de lényegét tekintve ugyanazon az alapötleten nyugszik: a DNS-ben bizony van töltéstranszport. A DNS spirálját bázispárok kötik össze, és méréseik szerint az elektron akár 100 bázispár távolságra elmegy, ami azt jelenti, hogy a DNS-nek a szakaszai tudnak egymással, elektronos jelekkel kommunikálni, ráadásul ez kommunikáció nagyon érzékeny arra, hogy vannak-e hibák a bázispárookban. Úgy tűnik tehát, hogy a DNS valóban vezetőszerűségként viselkedik, és ha a molekula egy kicsit is rossz, már nem jól vezet, sőt a jelenség érzékeny azokra a fehérjékre is, amelyek rákapcsolódnak a DNS-re, és azt okozzák, hogy a DNS valahogy felcsavarodjon. A DNS saját magát belül valahogy elektrontranszporttal tapogatja le, és ennek az alapfolyamatnak nagyon nagy szerepe lehet a DNS önjavító mechanizmusában – azaz a genetikai hibák javításában –, ami az életjelenségek egyik csodája (és aminek a megértéséhez igen sok kutatásra van még szükség). Ezen eredmények fényében valóban úgy tűnik, hogy egy nagyon alapvető folyamatot sejtett meg Szent-Györgyi.

⁸ Szent-Györgyi Albert, *Az élő állapot*, Kriterion Kiadó, Bukarest (1973) 6. old

⁹ Sontz, P.A. et al., *Accounts of Chem. Res.* 45, 1792–1800, (2012)

De térjünk vissza a kísérletekhez. A kísérleteknél van egy kritikus paraméter – az időbeli feloldás. Itt ugyanis gyors jelenségekről kell beszélnünk, ugyanakkor a jelenségeket csak akkor érthetjük meg, ha azokat időben tudjuk követni. (Ha valaki megkérdezi, hogy miért van szükség időbeli felbontásra, nekem a kedvenc példám a rúdugrás. Ha feltételeznénk, hogy olyan lenne az agyunk, mint egy kamera, amely 1 másodpercenként csinál egy képet, akkor valószínűleg a rúdugrás lenne az egyik legunalmasabb sport, mert általában két dologot látnánk: az ugró egy nagy rúddal készül valamire, utána pedig fekszik hanyatt a szivacsban. Az, hogy ez egy bonyolult folyamat, és elég érdekes dolgok történnek közben, mondjuk például meghajlik a rúd, aztán kiegyenesedik és átlöki a lécz fölé az ugrót, nem érzékeljük, mert ezek a részletek egy képen összemosódnak. Ezt csak akkor látjuk, ha van időbeli felbontásunk, ha például egy rövid felvillanású vakuval le tudjuk fényképezni „kimerevítve” az egyes szakaszokat.) Erre van szükség adott esetben az elektromos molekuláris folyamatok esetében is. Mivel lehet ezt megcsinálni? Javárészt lézerekkel. Annak idején 1984-ben *Groma Gézával és Váró Györggyel* végeztünk egy mérést, ami egy hosszú fehérjemolekulán (rodopszinon) belüli töltésmozgásról szólt, és a maga idejében a világ leggyorsabb kísérletileg detektált bioelektromos jele volt.¹⁰ Mondhatnám most azt, hogy elkezdtük kutatni azt, amit Szent-Györgyi megsejtett, ez jól hangzana ebben az előadásban, csak nem lenne semmi köze az igazsághoz, mert nekünk akkor eszünkbe sem jutott Szent-Györgyre gondolni. (Utólag már sajnálom, mert Szent-Györgyi akkor még élt, elküldhettük volna neki az eredményeinket.) A projekt igazi története abból a szempontból talán még érdekesebb, hogy létrejötté jellemzi az 1970-es évek végének Magyarországot. Az SZBK a rodopszinkutatások nemzetközileg ismert műhelye volt, egyebek mellett a molekulák elektromos viselkedését is kiterjedten vizsgálták.¹¹ Ennek során felvetődött az, hogy keresni kellene olyan partnert, aki sokkal gyorsabb méréseket tudna végezni. Bennünket, szegedi lézereket akkor még senki sem ismert, különösen nem Magyarországon. Az SZBK akkori főigazgatója, Keszthelyi professzor úr, aki Budapestről járt ide, természetesen elment a Központi Fizikai Kutató Intézetbe (KFKI) a lézerekhez, és felvette nekik, hogy segítségre lenne szüksége gyors időbeli jelek méréséhez. A KFKI-sok azt mondták Keszthelyi professzornak, hogy „Lajos, miért nem mész át a Tisza másik oldalára, mi is oda szoktunk járni mérni, mert ott vannak olyan festéklézerek, amikkel ilyenfajta vizsgálatokat lehet végezni”. Keszthelyi professzor úgy tudta meg, hogy mi létezőnk, hogy

¹⁰ Groma, G. Szabó, G. Váró, Gy., *Nature*, 308, 557, (1984)

¹¹ Keszthelyi, L. Ormos, P., *FEBS Lett.* 109, 189–193, (1980)

először elment Budapestre. Hozzáteszem, Groma Géza egy évfolyammal fölöttem járt az egyetemre Szegeden, a kollégiumban a szomszéd szobában lakott, de valahogy addig az nem derült ki, hogy nekik egy olyan problémájuk van, amit mi meg tudunk oldani. Megjegyzem, hogy bár a mérés a maga idejében világcsúcs volt, meg voltunk győződve arról, hogy maga a jelenség sokkal gyorsabb annál, mint amit látunk. Később kiderült, hogy ez valóban így is van.

Az időfelbontás a lézerek fejlődésével tovább javult, az 1980-as évek második felében megjelentek a femtoszekundumos lézerek. Mi magunk is ezen a témán dolgoztunk, részben ilyen lézereket fejlesztettünk, részben próbáltuk kihasználni azokat az új lehetőségeket, amelyeket a femtoszekundumos lézerek nyújtottak. Volt tulajdonképpen egy téma, ami a lézerek felfedezésétől kezdve egyfajta álom volt: a szelektív fotokémia. Az alapötlet az az, hogy vegyünk például egy molekulát, aminek az egyik végén van egy atom, ami jellegzetes kötési energiával kapcsolódik az atomhoz. Ez a kötés a rá jellemző hullámhosszú fényt kell, hogy elnyelje, ami különbözik attól, amit a molekula többi része esetlegesen képes elnyelni. Hangoljuk tehát ide a lézerünket, durrantsunk egy jót bele a molekulába, akkor biztos el fog szakadni az általunk kiválasztott kötés. Ezzel aztán a molekulákat tetszés szerint lehetne szabdalni. Amikor megpróbálták, kiderült, hogy abszolút nem ez történik. A molekulán belül az energia néhány tíz femtoszekundum alatt szétterjed, és mindig ugyanott szakad el, még hozzá ott, ahol a leggyöngébb. Olyan ez, mintha egy láncot szeretnénk egy megadott helyen elvágni, de ollónk nincs, csak húzni tudjuk a láncot, ami persze mindig ott szakad el, ahol a leggyöngébb.

Ez a nagyon szép ötlet 15 éven keresztül csak kudarcokhoz vezetett, mert ha az energia valóban szétoszlik, és a molekula ott törik el, ahol szokott, akkor ez semmiben nem különbözik attól, amit fűtéssel is el lehet érni, csak egy anyagot jó erősen felfűteni némileg olcsóbb, mint lézerrel szórakozni. Van azonban megoldás, még ha nem is ilyen egyszerű. Ezt pedig úgy hívják, hogy kvantumrendszerek optimális kontrollja. Ekkor viszont már femtoszekundumos lézereket veszünk, ezekkel úgy adagoljuk az energiát, hogy a molekulán belüli energiovándorlást figyelembe vesszük. Tehát a molekulát nem egy golyónak tekintjük, hanem egy tényleges kvantumrendszernek, és ennek a mikroszkopikus tulajdonságait vesszük figyelembe (azt szoktam erre mondani, hogy megtanítjuk az atomokat táncolni). Ezért a területért, a femtokémiáért, azaz femtoszekundumos impulzusokkal csinált kémiáért kapott Nobel-díjat *Ahmed Zewail* 1999-ben. Az egész témakört egyrészt azért szeretném bemutatni, mert technikailag nagyon sok köze van ahhoz, amiről beszélünk, másrészt azért, mert illusztrálja hogy milyen változáson ment át egy bő fél évszázad alatt a kísérletes tudomány.

A címben ígéret volt a paprikacentrifugára, én paprikacentrifugáról nem kívánok beszélni, azt viszont szeretném megmutatni, hogy hogyan változik a kísérleti

rendszereknek a bonyolultsága. Igen, Szent-Györgyi első kísérleteinél az 1930-as években egy jó technikus meg tudott csinálni minden kísérleti eszközt, legfeljebb ha az illető vegyész volt, akkor esetleg egy jó üvegtechnikus is kellett még hozzá. Két-három jó szakember meg tudott csinálni minden kísérleti eszközt, technikailag működtetni tudott egy világszínvonalú laboratóriumot.

Nézzük most meg azt az eszközt, amellyel egy kvantumkontrollos kísérletet csináltunk Jénában¹² – jó, ez volt az egyik legbonyolultabb kísérlet, amit én valaha is megterveztem –, és ami manapság már egyáltalán nem kirívóan komplex. Egy munkanap úgy nézett ki, hogy bementünk reggel dolgozni, nagyjából három-négy óra alatt sikerült beállítani a lézert, aztán úgy ebéd után el lehetett kezdeni dolgozni. (A lézerrendszerben, egyszer megszámloltam, 46 darab tükör volt, amelyek közül ha egy is egy kicsit el van állítva, akkor nem működik az egész, vagy ami még rosszabb: működik, csak rosszul, ami műtermékek méréséhez vezet.) Elkezdni dolgozni, azt jelentette, hogy akkor jutottunk el egyáltalán a kísérleti eszközhöz, ahol magát a kísérletet, a molekulának a „táncoltatását” végeztük. Erre mondom azt, hogy ez egy közepesen bonyolult kísérletnek nevezhető a mai sztenderdek szerint. Mellesleg azt is hozzáteszem, hogy nagyjából 4 millió márka volt a beruházási költsége (1997–98-ban), és közel két évig építettük. Így néz ki ma a paprikacentrifuga.

Az időbeli felbontás természetesen tovább javult. A 2000-es évek elején egy új technika jelent meg, amelyik tovább rövidítette az időskálát, 2001-ben a magyar *Krausz Ferencnek* és munkatársainak sikerült ugyanis attoszekundumos impulzusokat előállítani.¹³ (A jelenlegi világrekord 80 as.) Mi is az az attoszekundum? Ez 10-18 szekundum. Egy attoszekundum úgy aránylik az 1 másodperchez, ahogy az 1 másodperc a világmindenség korához. Ha Szent-Györgyi az 1940-es évek végén megálmodhatta volna, hogy mi legyen Szegeden, akkor az álmát elmesélve valószínűleg azt mondta volna, hogy álmomban egy attoszekundumos lézerközpontot láttam Szegeden, amivel végre meg lehetett nézni azokat az elektronokat, amelyek szerintem az életjelenségek alapjait adják. (Biztosan nem használta volna az attoszekundumos lézer kifejezést, mert akkor még a lézer szó sem volt ismert.)

Utolsó, rövid fejezetként nézzünk meg egy példát, hogy mi is az az atto-tudomány. *Cederbaum* és munkatársainak számolása alapján¹⁴ tudjuk, hogy egy hosszú oligopeptid molekulán (Gly-Gly-NH-NH₃) az ionizációt követően az elektron hiánya következtében keletkező lyuk 5-6 femtoszekundum alatt végigvándorol, ráadásul ez a vándorlás érzékeny arra, hogy a molekula melyik

¹² Glaß, A., Rozgonyi, T., Feurer, T., R. Sauerbrey, R., Szabó, G. Appl. Phys. B 71, 267–276 (2000)

¹³ Hentschel, M. et. al. Nature, 414, 509, (2001)

¹⁴ Kuleff, A.I., Lünemann, S., Cederbaum, L.S., Chem. Phys. 414, 100, (2013)

szerkezeti módosulatával van dolgunk. (Valami ilyesmiről beszélt Szent-Györgyi is, amikor az élet alapjelenségeivel foglalkozott.) E pillanatban azonban csak elméleti számolások állnak rendelkezésre. Ezek elvégzéséhez is szükség volt a számítási módszerek és a számítógépek fejlesztése terén az utóbbi egy-két évtizedben lejátszódott forradalomra, ám a jelenségnek kísérleti vizsgálatához az attosekundumos technika további lényeges fejlődésére van szükség.

Végül tegyünk föl egy Szent-Györgyihez méltó kérdést: vajon miért stabilak a fehérjemolekulák – mondjuk maga a DNS is – akkor is, hogyha rájuk süt a Nap. A napfényben ugyanis elég sok ultraibolya foton van. Ha a fehérjemolekulák a bevezető kvantummechanikai tankönyveket tanulták volna, akkor tudnák, hogy kutyakötelességük lenne ultraibolya fény hatására azonnal elbomlani, mert egy ultraibolya foton annyi energiát visz be a molekulába, hogy a benne levő kémiai kötésnek fel kell szakadni. Ahogy azt korábban említettük, az energia néhány tíz femtoszekundum alatt megkeresi a leggyengébb kötést, és felszakítja. Ahhoz, hogy ez ne következhesen be – márpedig a tapasztalat azt mutatja, hogy ez nem, vagy csak a vártnál jóval ritkábban következik be –, néhány tíz femtoszekundumnál rövidebb idő alatt kell valaminek történni. De mi lehet ez? Emlékezzünk Szent-Györgyire: „*valami nagyon fontos, egy egész dimenzió hiányzik a gondolkodásunkból ...*” Van erre megoldás, amit úgy tűnik, az evolúció is felfedezett. A megoldást úgy hívják, hogy kúpos metszet. A kifejezés elég absztrakt, a metszet szó arra utal, hogy többatomos molekulák esetén előfordulhat, hogy a gerjesztett és alap állapotú potenciális energia felületei metszik egymást. Ebben a metszéspontban az elektron nem tudja eldönteni, hogy hova tartozik, amely dilemmának az eredménye az lesz, hogy pillanatszerűen megszabadul a fölös energiától, és leesik lapállapotba. Ez egy igen lényeges folyamat, ami minden bizonnyal alapvető szerepet játszik abban, hogy a molekuláink egyben maradnak. Természetesen ebben az esetben is igaz az, hogy az elméleti számítások alapján jól körvonalazódik a kúpos metszetek viselkedése, közvetlen kísérleti adatok még nem állnak rendelkezésre. Ha tehát megkérdeznék tőlem, hogy mi lehetne egy olyan, Szent-Györgyi Albert szellemi örökségéhez méltó feladat, amellyel a Szegeden megépülő lézerközpont kezdetné a munkáját, akkor azt mondanám, hogy a kúpos metszetek közvetlen kísérleti tanulmányozása biztosan ilyen.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném kifejezni hálámat, hogy Ladik János hozzájárult a Szent-Györgyi Alberttel folytatott személyes levelezésének megismertetéséhez.