



A molekuláris gépek robaja: kötetlen délelőtti csevegés Ben Feringa Nobel-díjas kémikussal



2024. május 16-án megtelt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem K épületének Díszterme. A bő kétszáz fős hallgatóság nagy része fiatal kutató volt, a neves vendég pedig a 2016-os kémiai Nobel-díjas Ben Feringa. A beszélgetést a Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Osztálya és a Magyar Kémikusok Egyesülete szervezte. Az előbbi Perczel András osztályelnök, az utóbbi Szalay Péter elnök képviselte a pódiumon. A beszélgetés moderátora Lente Gábor, a Magyar Kémikusok Lapja felelős szerkesztője volt. Ebben a cikkben a beszélgetés fordítását közöljük.

Perczel András: Nagy öröm számomra, hogy bemutathatom Bernard Lucas Feringa professzort ebben a körben. Kivételes kémikus ő, kutatásai középpontjában a szerves kémia és a molekuláris nanotechnológia áll. Elsőként fejlesztett ki molekuláris motorokat, s ezért Jean-Pierre Sauvage és Fraser Stoddart kutatókkal megosztva 2016-ban megkapta a kémiai Nobel-díjat.

Ben Feringa Hollandiában, a Groningeni Egyetemen tanult, és doktori fokozatát is itt szerezte 1978-ban. Végzés után hat évig a holland Shell cég kutatólaboratóriumában dolgozott, munkája szintetikus szerves kémiai jellegű volt, oxidációs és fotokémiai módszereket fejlesztett. 1984-ben oktatóként visszatért a Groningeni Egyetemre, ahol 2003-tól a Jacobus van 't Hoff kiemelt professzori címet viselve dolgozik. Sok akadémiai, tudományos és szakmai szervezetben tölt be jelentős szerepet, de ezek tételes felsorolása helyett inkább az eredményeiről szeretnék néhány szót szólni.

Ő állította elő az első fotoaktivált nanocsövet, amely fény hatására kinyílik és tartalmát kibocsátja. Megalkotta az első, hasonló elven működő, fény által aktivált pórusokat és kémiai vezikulumokat. A nevéhez fűződik az első olyan antibiotikum megalkotása is, amely megfelelő hullámhosszú elektromágneses sugázzal aktiválható. Képzeljük el, milyen felhasználásai lehetnek annak a technológiának, amely fénnel szabályoz bioaktív anyagokat. Ez a módszer akár a mellékhatásokat is teljesen megszüntetheti. Ben Feringa legnagyobb felfedezése azonban a molekuláris motorok megalkotása volt. Ennek kulcsa az, hogy sikerült egy irányba forgó molekuláris részleteket szintetizálni. Ilyen elven forgó kerekkel létrehozták az első nanoméretű autót: egy négykerekű, fényenergiával hajtott molekuláris motort. A forgó mozgást transzlációs mozgássá átalakításában is jelentős sikereket értek el. Óráként egyetlen egy ciklust végző alapkóbból kiindulva másodpercenként több ezret forduló rendszert

sikerült kifejleszteniük. A mai beszélgetés remek lehetőség arra, hogy kérdezzünk egy ilyen kivételes eredményeket elérő tudóstól, aki elkötelezett alapkutató, egyben remek tanár és előadó is. Köszönjük Feringa professzornak, hogy elfogadta a meghívásunkat.



Lente Gábor: Életrajza szerint röviddel a második világháború után, a „babyboomer” generációban született Hollandiában, és egy farmon nőtt fel, a német határ közelében. Mi vonzotta a földműves család fiúgyermekét a tudomány és a kémia felé?

Ben Feringa: Köszönöm a kérdést, alkalmat ad arra, hogy a fiatalokomról beszéljek. Valóban, felmenőim földművesek voltak, a farmunk mindössze 800 méterre volt a német határtól, nem benn a faluban. Gyerekként nagyon sok időt töltöttem a földön a szüleimmel, mindenekelőtt az édesapámmal, s folyamatosan kérdéseket tettem fel neki. Miért kék az ég? Miért növekszik



Balról jobbra: Perczel András, Lente Gábor, Ben Feringa, Szalay Péter

ez a növény? Miért ilyen szép a napraforgó virágja? Voltak tehenek, sertéseink, csirkéink, lovak, és megkérdeztem, hogyan születik egy borjú. A farmon majdnem teljesen önellátóak voltunk. Folyamatosan segítettem édesanyámnak a kertben, ahol a zöldségek teremtek.

A családjunk római katolikus volt. Tíz gyermek közül a második legidősebb voltam, kilenc testvérem van, hat húgom. Minden itt kezdődött. A tudásvágy szikrája itt született meg bennem. Ez még bőven az Európai Unió előtti időben volt, a határt őrítették, átlépni nem lett volna szabad. Édesapámmal mégis megtettük időnként, mert az a terület egyfajta vadon volt, ahol fantasztikus dolgokat lehetett látni. Az esetleg arra járó határőröket édesapám cigarettával kínálta, így aztán soha nem állták utunkat. Egyfajta kaland volt az egész. A templomban és az iskolában könyvek is voltak, így olvastam felefedezőkről és kalandorokról, meg sok minden másról. A szüleim is jártak iskolába és igen jó képességeik voltak, de valódi esélyük soha nem volt a továbbtanulásra. A barátaimmal együtt mi voltunk az elsők, akik az ottani közösségből egyetemre mehettek. Az igazi kaland azonban már a középiskolában elkezdődött. Ez fontos számomra: amikor általános iskolából középiskolába léptem, akkor kémiát, fizikát és matematikát kezdtem tanulni, és ez új világot nyitott meg előttem. Fantasztikus volt.

LG: A holdra szállítás éppen ekkor volt. Nézte élőben?

BF: Természetesen. Gimnazista voltam, még mindig jól emlékszem a „Kis lépés ez egy embernek, de hatalmas ugrás az emberiségnek” mondatra. Két olyan esemény volt, amelyet alvás helyett néztem, s mind a mai napig emlékszem rájuk. Az egyik a holdraszállás, a másik a berlini fal lebontása.

LG: Minden bizonnyal jól emlékszik a Nobel-díj átadásának napjára is. A bizottság kétféle összefoglalót is kiad a díjazott felfe-

dezésről: egy rövidebbet a nagy nyilvánosság számára és egy hosszabbat hozzáértőbb természettudósoknak. Ezek az írások természetesen a díjazottak közreműködése nélkül születnek. Mi a véleménye: az Ön kutatásainak lényegét jól foglalták össze?

BF: Valóban tőlem függetlenül születtek ezek az összefoglalók. Azt gondolom, hogy jól sikerültek. Bemutatták a molekuláris gépek felfedezésének alapötleteit és a téma jelentőségét, az első molekuláris motorról is közérthetően írtak. Ez persze nem jelenti azt, hogy mindenki azonnal megérti, miért is ennyire fontosak ezek az eredmények. Gyakran kérdezik tőlem: Miért van szükségünk molekuláris gépekre?

LG: Miért van szükségünk molekuláris gépekre?

BF: Efféle kérdést a Wright-testvéreknek is feltettek. Több mint száz éve ők voltak az elsők, akik repülőgépet építettek. Néhányan ezt mondták erre: Miért kellene repülnünk? Ha Isten azt akarná, hogy az emberek repüljenek, akkor a madarakhoz hasonlóan szárnyakat adott volna nekik. Senki sem látta előre, hogy ma egy Boeing vagy Airbus négyszáz emberrel átrepül az óceánon, óránkénti ezer kilométeres sebességgel tízezer mérföldet repülve. Csinalnak ilyet a madarak? Ez jó mérnöki példa: egy repülő gép. Három és fél millió alkatrész, mind mesterséges. Anyagtudomány, kémia, fizika, számítástechnika és sok-sok mérnöki tudomány. Ez mind kell ahhoz, hogy egy Boeing repüljön. Vagy ahhoz, hogy a holdra szállhassunk. Hát nem fantasztikus? Száz éve senkinek se volt fogalma arról, hogy ilyen repülőgépeken utazunk majd valamikor. Az egyetemeken is ezt kell tanítanunk: a tudomány szerepe az újabb ismeretek megszerzése és olyan új dolgok kitalálása, amelyek hasznát jelenleg elképzelni sem tudjuk. Más példákat is tudnék hozni. Ilyesmit gyakran kérdeznek tőlem a nanotechnológiáról is. Általában a mozgás szerepének kiemelésével válaszolok.



Körülöttünk mindent molekulák és atomok építenek fel. Mindezt, még a testünket is. Az általunk készített szintetikus dolgok, például a műanyagok, nem mozognak. De az emberi test él, mozog. Amikor felállok, odébb megyek vagy integetek valakinek, akkor az összes mozgást molekuláris gépek hajtják. Ehhez az üzemanyag is a szervezetben készül, emiatt mozoghatnak az izmok. Igen jól megtanultuk már, hogyan készítsük el a modern társadalomban használt anyagokat. A következő lépés a maguktól mozgó dolgok elkészítése, a rendszerek kimosztása az egyensúlyi helyzetből. Olyan dolgokat kell csinálni, amelyek alkalmazkodnak, érzékelnek, újrarahangolják magukat. Amikor néhány hete megvágtam az ujjamat, akkor nem kellett semmit csinálnom ahhoz, hogy rendbe jöjjön. Magától meggyógyult, csak tisztán kellett tartanom. Ha azonban egy műanyagdarabot vágok meg, az nem gyógyul meg. Ha dinamikus rendszereket sikerül készíteni, akkor egy autón lévő karcolás is magától megjavulhat. Ez a jövő.

LG: Az a gyanúm, hogy ilyen kérdéseket, főleg a pályafutása elején, tudományos cikkek szakértő bírálói is feltettek – névtelenül. Ilyenkor mi volt a válasz?

BF: Igen, természetesen feltettek. Amikor alap kutatásokon dolgozunk, gyakran felmerül a kérdés, hogy milyen felhasználásokban lesz ez jó. Kitartónak kell lenni. Ez nagyon fontos a diákok számára. Nem szabad csak úgy feladni a dolgokat. Persze időnként van olyan helyzet, amikor be kell látnunk, hogy tévedtünk. Ha viszont az ötlet jó, akkor lehet, hogy sem elsőre, sem másodikkra nem működik. Mindannyian tudjuk, mennyire nehéz kísérletezni a laborban. Az elméletekkel foglalkozó barátaink segíthetnek, de az ő pozitív eredményeik sem garantálják a sikert. Nem szabad meginogni abban a meggyőződésben, hogy hasznos dolgokat csinálunk. Hadd állítsam példaként az egyik leghíresebb magyar honfitársukat, Karikó Katalint. Sokakat inspirálhat az ő személyisége. Nagy nehézségei voltak, a története pedig egészen rendkívüli fordulatot vett. Remek volt az mRNS módosításának ötlete, de eleinte senki sem hitt benne. Még állandó egyetemi állást sem kapott. De tudta, hogy fontos, amit képvisel. A kora előtt járt, és emiatt sokan nem fogadták el a mondanivalóját. Így aztán egy céghez ment dolgozni, ahol addigra már belátták az alap gondolat hasznát. Ezért az eredeti ötlet után négy évtizeddel egyetlen éven belül kifejleszthették a Covid elleni védőoltást. Mindez az ő kitartásának köszönhető: nem adta fel.

A tudomány erről is szól: akkor is lehet egy ötlet jó, ha elsőre csak kevesen értik meg. Ne értsék félre ezt a megjegyzést: fontos, hogy meghallgassuk a tudóstársainkat – lehetnek jó meglátásaik és feltehetnek kritikus kérdéseket. A kérdések rendkívül fontosak az egyetemeken. Ha ma egy kolléga elmondja nekem a kutatásai lényegét, s én azt válaszolom, hogy igazán kitűnő, abban a kutatásban nem sok lehetősége van az előrehaladásra. Sokkal többet ér, ha kritikai megjegyzéseket teszek, alternatívákat javaslok. Természetesen akkor is így van ez, ha az én saját kutatásaimról van szó. Néha lényeges, hogy legyen kézzelfogható cél, mert egyébként nem lehet kutatástámogatást nyerni, de az egyetemeken mindenképpen meg kell őrizni a kutatás és a felfedezés szabadságát.

LG: Találkozott személyesen is Karikó Katalinnal?

BF: Igen. Akkor volt alkalmam erre, amikor a Solvay-díjat vette át. Ezt másfél évvel a Nobel-díj előtt adták át Brüsszelben, igen rangosnak számít. Néhány más alkalommal is találkoztam vele. De nemcsak őt, hanem a lányát is megismerhettem.

LG: Az olimpiai bajnokot?

BF: Egy vacsorán mellette ültem. Magas, szőke, kidolgozott izmú hölgy, emlékeztet a Hollandia északi részéről, Frízföldről származó lányokra, akikkel nem lenne jó összetűzésbe kerülni. Azt kérdeztem tőle: „Édesanyád igencsak sikeres, megkap minden létező kitüntetést. Te mivel foglalkozol?” A válasz ez volt: „Aranyérmet nyertem két egymás utáni olimpián.” [Francia Zsuzsanna az amerikai evezős csapat tagjaként lett olimpiai bajnok 2008-ban Pekingben és 2012-ben Londonban.] Most már értem, miért lett ennyire erős hölgy. Az édesanyja Nobel-díjas, a lány pedig kétszeres olimpiai bajnok. A férj igencsak büszke lehet a családban.

LG: A tudósok számára másfajta elismerés a nagy múltú szatekintő Lindau Nobel-díjas találkozó. Mondana erről pár szót, illetve arról, hogy milyen szerepét látja a tudományos életben?

BF: Igen, meghívtak már néhányszor. Kimagasló rendezvénynek gondolom. A Lindau Találkozó fővédnöke Lindau hercegnője, aki a svéd király másod-unokatestvére [Bettina Bernadotte hercegnő ugyanúgy V. Gusztáv egykori svéd király dédunokája, mint XVI. Károly Gusztáv jelenlegi svéd király]. A szervezésben a Nobel Alapítvány is részt vesz, minden évben öt- vagy hatszáz fiatalot hívnak meg: főként doktoranduszokat, de időnként graduális hallgatókat vagy posztoktori kutatókat is a világ minden országából. Általában a nemzeti akadémiák és tudományos szervezetek választhatják meg, hogy egy országból kik mehetnek. Hollandiából hat vagy nyolc résztvevőt fogadnak. A fiatalok Lindauban egy teljes hetet töltenek mintegy hatvan Nobel-díjjal együtt, akik előadásokat tartanak, illetve informálisan, kisebb körű beszélgetéseket szerveznek. Mindig megújult energiával térnek haza egy ilyen találkozóról, a sok beszélgetés, a változatos kérdések rendkívül inspiráló hatásúak. Ami még fontosabb talán: a világ minden tájáról érkező fiatal tudósok megismerhetik egymást, életre szóló barátságokat köthetnek.

LG: Ha jól tudom, a kémia minden harmadik évben játszik központi szerepet.

BF: Igen, egy évben kémiáról és fizikáról, a következőben orvostudományról, a harmadikban pedig általános témákról szól. Az idén az orvostudomány van a középpontban, ezért nem megyek, de jövőre kémia lesz, akkor ott leszek.

LG: A következő kérdést egy számomra nagyon kedves témáról szeretném feltenni. Ön a brit *Chemistry World* kémiai hírmagazin szerkesztőbizottságának elnöke. Hogyan kérték fel erre a tisztségre?

BF: Az angol Királyi Kémiai Társasággal hosszú éveken át kapcsolatban voltam, több évig a vezető testület tagja is voltam. A Társaság el akart indítani egy olyan magazint, amely az Amerikai Kémiai Társaság által kiadott *Chemical & Engineering News*-hoz hasonlóan ipari és tudományos híreket közöl, s engem kértek fel a szerkesztőbizottság elnökének. Tehetséges csapatot hoztak össze újságírókból és szerkesztőkből. Évente többször találkoztunk azért, hogy a lap ügyeit megvitassuk. Az *Organic and Biomolecular Chemistry* folyóirat elindításában is döntő szerepem volt. Elég nehéz folyamatnak bizonyult a lapalapítás, mert ezzel véget ért a *Perkin 1* és a *Perkin 2* kiadása – erre az idősebbek még minden bizonnyal emlékeznek. A váltás elég ellentmondásos döntésnek számított a brit kémikusok körében, különösen a



befolyásos tagok között. A lapok akkor már évszázados múltra tekintettek vissza, de a Királyi Kémiai Társaság szeretett volna valami újat, ami jobban kapcsolódik a biológiához. Ennek a siker után, a *Chemistry World* indulásakor azt gondolták, külföldiként jobb eséllyel győzhetem meg a brit kémikusokat arról, hogy szükség van hírmagazinra. Szerintem ennek óriási a társadalmi szerepe: a tudósoknak meg kell mutatniuk, miért is fontos tudománnyal foglalkozni. Semmiképpen nem szabad ezt a kérdést alábecsülni: tudósként kitűnő cikkeket publikálunk, de ha politikusokhoz vagy a nagy nyilvánossághoz fordulunk – bár én a legkevésbé sem vagyok politikus –, mindig felmerül a kérdés, hogy miért van szükség fizikára vagy kémiára. Ezek a társadalomban nem egyszer veszélyérzetet keltenek. A tudósok felelőssége, hogy megmutassák a tudás, az oktatás és a tények ismeretének valódi jelentőségét, és ennek közel sem teszünk teljesen eleget. A kémiát is folyamatosan népszerűsíteniünk kell. El kell mondanunk, hogy kémia nélkül nincs okostelefon, gyógyszer, elektromos közlekedés és akkumulátor. Mindehhez kémia, fizika, anyagtudomány és mérnöki tudás kell. Hogyan várhatjuk a politikusoktól vagy a közvéleménytől, hogy felismerjék ezt, ha mi nem mondjuk eleget?

Ezért minden itt lévő fiatal felhívok arra, hogy ne csak remek szakmai cikkeket írjon, hanem vállalja fel az ismeretterjesztés feladatát is. Álljon ki a közvélemény elé, mondja el, miért fontos a tudomány és hogy egy-egy új eredmény elérése miért tart időnként akár harminc-negyven évig is. Időnként feltesznek nekem hasonló kérdéseket, bár általában nem a *Chemistry World* kapcsán, hanem a társadalmi szerepvállalásról. Stockholmban a Nobel-díj átadáskor újságírók megkérdezték tőlem, hogy tervezem-e a visszavonulásumat. Hiszen megkaptam a legnagyobb tudományos elismerést. A válaszem az volt, hogy tudós vagyok. Ez ugyanúgy a szenvedélyem, mint egy hegedűművésznak a zene. Nem lehet leállni vele. Van kutatócsoportom, diákokért vagyok felelős és a jövő héten tanítanom is kell az egyetemen. De azt is mondtam, hogy szeretnék nagyobb szerepet játszani a tudományos ismeretterjesztésben.

Így Stockholm után létrehoztam egy alapítványt az egyetem segítségével. Hathetente elmegyünk általános és középiskolákba, egy-másfél órát beszélgetünk a diákokkal. Ilyenkor mindig jön velem nyolc-tíz egyetemi hallgató is. A beszélgetés után kísérletezünk: a legfiatalabb résztvevők öt-hat évesek, a legidősebbek tizenkettő körüliek. A gyerekek tanítása hihetetlenül izgalmas. Délutánonként középiskolákban csináljuk ugyanezt. Ilyenkor persze a kísérletek mások. Egy hónapja az egyik csoportban három kislány egy kísérletben kék színű oldatot kapott, az ugyanazt csináló fiúk viszont vöröset. Az egyik lányt érdekelte, hogy miért különbözik. Megmondtam neki, hogy ők csinálták pontosan a dolgot, a fiúké azért lett vörös, mert túl savas lett a közeg. Az ilyen megbeszélések mindig inspirálóak. A kérdések néha rendkívül kreatívak. Egy hatéves kislány például azt kérdezte tőlem, hogy a nanoautók világában is vannak-e dugók? Azt gondolom, az ilyen ismeretterjesztést az iskolákban kell kezdeni. A gyerekek a legjobb oktatást érdemlik. Ez nagyon fontos üzenet mindenkinek.

LG: Az Ön Nobel-díját egy televíziós műsorban, a Simpson családban is megjósolták hat évvel ezelőtt, hogy ténylegesen odaírták volna. Nézi a sorozatot?

BF: Gyakran megkérdezik tőlem: tudtam-e arról, hogy Nobel-díjas leszek. Ez érdekes téma, kicsit a sportokhoz hasonló. Az idén Párizsban olimpia lesz. Hogyan lehet ott aranyérmet nyerni? Ha

folytonosan az olimpiai bajnokságról álmodozik valaki, akkor az idejét pazarolja. Soha nem fog nyerni. Amit csinálni kell: minden reggel felkelni hat órakor és borzasztó keményen edzeni. Ha a verseny alatt összejönnek a dolgok, akkor lehet érmet nyerni.

Kémiával foglalkoztam, tudományos eredményeket értem el, tanítottam, követtem a saját szenvedélyemet. Egy idő után néha hall másoktól olyat az ember, hogy akár Nobel-díjas is lehet. Karikó Katalinnal is ez volt a helyzet. De én egyáltalán nem gondoltam erre... egészen addig, amíg egy szeptember végi szerda este, negyed tízkor az Illinois-i Egyetemen dolgozó kollégám felhívott, és ezt mondta: „Ben, tegnap este szerepeltél az amerikai tévében.” Azt gondoltam, hogy viccel. Hollandiában vagyok professzor, a Groningeni Egyetemen. Mi keresnivalóm lenne egy amerikai tévében? De ő folytatta: „Tegnap este főműsoridőben a Simpson családban megjósolták, kik lesznek a Nobel-díjasok. A kémiára Moerner, Feringa és Sonogashira volt a tippjük.” Moerner 2014-ben kapott Nobel-díjat, én 2016-ban. [Kenkichi Sonogashira nem kapott Nobel-díjat, de 2010-ben valóban az ő kutatási területén, a palládiumkatalizált keresztirányú reakciók kidolgozásáért ismerték el Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi és Akira Suzuki kutatókat.] Másnap reggel a laborban a hallgatók odajöttek hozzám a laborban. A Twitteren látták, hogy a Simpson család szerint én leszek az egyik Nobel-díjas. A válaszem ez volt: ha egyszerű kémikusként az amerikai tévé főműsoridőben a Simpson családban mondják azt, hogy Nobel-díjas leszel, akkor annál nagyobb elismerés már nem létezik. Még maga a Nobel-díj sem az.

Ezután a vendég a közönség kérdéseire válaszolt

Patrick Pallagi (University of Toronto): Mi az a tudományos téma, amelyet az utóbbi időben a legérdekesebbnek tart?

BF: Az utóbbi időben nagyon érdekel, hogyan lehet molekuláris motorokat sejtmembránokra építeni. Fénnyel mozgásba lehet hozni a motort, ez megváltoztatja a membrán szerkezetét, és így például rákos sejtekbe lehet hatóanyagot bejuttatni. Biológusokkal és orvosokkal dolgozunk együtt ilyen fotofarmakológiai témákon. Emiatt most sok sejtbiológiát kell tanulnom.

Viktor Milata (Pozsonyi Műszaki Egyetem): Tudna mondani egyetlen dolgot, aminek semmi kapcsolata nincs a kémiával?

BF: Ez nehéz igen kérdés. Talán az emberi gondolatok. De azok mögött is kémiai és fizikai folyamatok állnak. Valóban: minden, amit látok, az kémia. A mérnöki tudományokban a reaktorok nagyon fontosak, és ezekben a transzportfolyamatok különösen azok. Nagyon érdekes, hogyan kommunikálnak az élő szervezetekben lévő nagy molekulák. A dinamika, a mozgás nagyon érdekel és ezen a téren a mérnököktől sokat lehet tanulni, mert nekik szinte mindig összetett rendszerekkel kell dolgozniuk: oldószerek, reaktorok, hőmérséklet, áramlási sebesség. De visszatérve a kérdésre: akár a nevetést is megemlíthetnénk, de valójában ott is van kémia. Oka vannak annak, hogy a kémiát központi tudománynak tartják a művelői.

Stépan Gábor (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem): Amikor diákokat tanítunk, gyakran mondjuk nekik, hogy hihetetlen technológiai fejlődés mehet végbe rövid idő alatt, és erre a saját életünkben hozunk példát. Mi volt az Ön életében a legnagyobb ilyen változás?

BF: Számítalan ilyen volt. De talán mondok egyet. Ebben a tremben van olyan, akinek nincs okostelefonja? [Egyetlen ember jelentkezik.] Hát ez rendkívüli. Ön lényegében más fajhoz tarto-



zik, amely mára majdnem kihalt. Sok olyan diákkal dolgozom együtt, akik nem tudják elképzelni, hogy egyáltalán létezhetett a világ okostelefon nélkül. Pedig csak alig 17 éve létezik ilyen eszköz. Alapjaiban megváltoztatta a világot: kommunikációnkat egymással, az információszerezési szokásainkat és sok más szempontból. De harminc év múlva az unokáink már az okostelefonokat fogják elavult technológiának látni. Nemrégiben egy diákcsoportot megkérdeztem, tudja-e valaki, mi az a CD. Senki nem jelentkezett. Fiatalkoromban hatalmas zenei változás volt, amikor a hagyományos lemezeket felváltották a CD-k.

Tóth András (Qubit.hu): Az antibiotikumrezisztencia folyamatosan növekvő veszélye miatt érdekelne a fotoaktivált antibiotikum kifejlesztése. Hogy áll ez most, és milyen akadályok állnak előtte?

BF: A fotofarmakológia ötletét tíz évvel ezelőtt Dick Traunerrel együtt vetettük fel. Ő most már Amerikában dolgozik. [A University of Pennsylvania professzora.] A terület robbanásszerűen fejlődik. Sok kutató akar aktivált, precíziós gyógyszereket kifejleszteni. Az antibiotikumok különösen érdekesek ilyen szempontból a rezisztencia kialakulása miatt. Az Egészségügyi Világszervezet időzített bombának nevezi a problémát. Most azt hisszük, hogy a Covid volt a nagy krízis az életünkben: az egyetemek bezártak, a kutatómunka is szünetelt, de az antibiotikumok hasonló nagyságrendű problémát okozhatnak. Ezért fontos újakat fejleszteni és új megoldásokon gondolkodni. Optimista vagyok. Már sikerült olyan szert készíteni, amely állatokban hatásos, de még mindig nagyon hosszú az út a tényleges betegek gyógyításáig. Azt is tudjuk, hogy nem szabad kizárólag egyetlen ötletre támaszkodni. Mostanában orvosokkal együttműködve bakteriális plakkokon és biofilmekben is dolgozunk. Őszintén szólva nem tudom, merre megy a jövőbeni fejlődés. A világon sok csoport tesz erőfeszítéseket a problémák megoldására. Mi is együttműködünk nagy gyógyszergyártókkal, startupcéget is alapítottunk. Biztosan szükség lesz új ötletekre is. Nem szabad elfelejteni, hogy a baktériumok sokkal régebben léteznek már, mint az emberi lények, és nálunk jobban alkalmazkodnak a környezethez. Ez az érem másik oldala.

Huszthy Péter (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem): A fényen kívül lát valami más aktivációs lehetőséget? A pH, a redoxitulajdonságok, esetleg a hőmérséklet?

BF: Igen. Kémiai hajtórendszereket is készítettünk: olyan forgó motort, amely katalizált reakcióból nyeri az energiát. Sajnos 48 óra után leállt, elég lassú volt, és a mellékreakciók is zavarták. Sugárhajtáshoz hasonló rendszert is létrehoztunk szén nanocsövek segítségével. Ez cukrot használt üzemanyagként. A diákjaimmal együtt azt az elképzelést alakítottuk ki, hogy ez egyfajta vérben úszó tengeraltjáró, nanorobot lehet. A vérben sok cukor van, így ez ideális üzemanyagként tűnt. Két enzimet, glükóz oxidázt és katalázt kötöttünk szén nanocsövekhez. Az előző hidrogén-peroxidot állít elő, az utóbbi oxigént készít belőle, így rakétaszerű mozgás lesz a végeredmény. Működik is, bár az iránytartás elég jelentős probléma: mintha egy részeg tengerész lenne. Elektromotor kifejlesztésén most is két doktori hallgató és egy posztdoktori kutató dolgozik. A fénynek sok előnye van, ezért helyeztük arra a hangsúlyt. Szabályozhatjuk az energiáját, ki- és bekapcsolhatjuk, odairányíthatjuk, ahová akarjuk, a sejtekbe is behatol. A pH nem működhet így, mert az egyensúlyi dolog. A mozgáshoz a rendszert ki kell mozdítanunk az egyensúlyból, üzemanyagra van szükségünk. A pH-t kapcsolóként használhatjuk, egyik állapotból átválthatunk vele a másikba.

Bojtár Márton (HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont): Mi is hasonló témán dolgozunk, fotolabilis védőcsoportokat tartalmazó vegyületeket [angolul *photocage*] fejlesztünk. Az én tapasztalatom szerint nehéz meggyőzni arról a gyógyszeripart, hogy ez jó ötlet. Mit tudna erre mondani?

BF: Két különböző megközelítés is célra vezethet. Az elsőben egy hatóanyagra védőcsoportszerűen viszik fel a fényérzékeny részt, amely aztán a fény hatására leválik, és így adja az aktív formát. A másikban nem kell lehasítani molekularészletet, ekkor a fényérzékeny rész egyfajta kapcsolóként működik. Fontos, hogy miből áll a fotoérzékeny rész, mert nem lehet a szervezetre káros hatással. Nem szabad feladni! Mindegy, hogy most mit mondanak a gyógyszergyárak, ez nekem továbbra is jó gondolatnak tűnik. Az ipar konzervatív, amit meg is tudok érteni. Az ilyen anyagok még mindig a fejlesztés elején vannak, a legjobb esetben is tíz év még, mire termék lehet belőlük. Néhány hete Dick Trauner telefonon hívott Amerikából, és elmondta, hogy elkezdődtek az első klinikai tesztek. Ez nagy lépés, mert a biológiai szövetekkel való munkával szemben etikai bizottsági engedélyekre van szükség. Most már nagyobb befogadókészséget látok az ipar részéről, szerintem idővel őket is sikerül meggyőzni.



Hajdu Bálint (Szegei Tudományegyetem): A molekuláris motorok építőelemeiről szeretnék kérdezni. Melyikben látja a legtöbb lehetőséget a jövőben? Jó lesz-e a DNS-origami vagy a fullerének válnak be?

BF: Nem igazán tudom. A csoportunk fulleréneket nem használ, mert túl sok fényt nyelnek el, inkább napelemekben felelnek meg. Szintetikus kémikus vagyok. Tervezőkor a molekulákat egészen kicsi egységekből építem fel: ezek kapcsolók, motorok, katalizátorok. Biohibrid rendszerekkel is sokat foglalkozunk: ilyenkor fehérjékbe vagy sejtmembránokba építjük be a szintézissel előállított, funkcionális részleteket. Az elmúlt évtizedekben rengeteg tapasztalat gyűlt már össze arról, hogy mi működik és mi nem. Az építőelemek gyakran csak a táblán léteznek. A hallgatóim sok elméleti számolást is végeznek. Így előre lehet elképzelésünk arról, hogy melyik tartományban nyel majd el a molekularészlet, mekkora energiagátja lesz a megcélzott mozgásnak. Ha a biológiai felhasználás miatt fontos a vízdíthatóság, akkor az más gondolkodást igényel, mintha egy felszínre vagy polimerbe akarjuk kötni a részletet. Sok paraméterről kell előre gondolkodni, időnként a valóság meg is tréfál bennünket. Papíron tűnhet valami vízdíthatónak, ami aztán a valóságban mégsem lesz az. Ez a tudományban egyáltalán nem ritka.

A legérdekesebb felfedezések gyakran furcsa véletlenek következményei. Az egyik hallgatóm cikke két hete jelent meg a *Nature Chemistry* folyóiratban: egy molekuláris motorba aldehidcsoportot épített be, ezzel megváltoztatta a gerjesztett állapot energiaviszonyait, s a kvantumhatásfok 80%, a szelektivitás pedig 99% fölé növekedett. Ez igen biztató eredmény, most próbáljuk éppen femtoszekundumos lézerspektroszkópiával megérteni, hogy mi is történt. Amit így találunk, az meghatározza majd, hogyan tervezzük a következő rendszert. Nem szabad a váratlan dolgokat visszautasítani. Éppen itt van a teremben a rektor, ezért nem biztos, hogy tanácsos ezt elmondanom, de az egyetemi kutatásokban a hibák teljes kiküszöbölésére sem szabad törekedni. Nem arra gondolok, hogy szabad lenne egy labort felrobbantani, az nyilván súlyos probléma. A legérdekesebb felfedezések viszont gyakran hibákból erednek. Amikor a fizikus kollégákkal beszélgetek, azt a benyomást teszik rám, hogy mindent tudnak. De ha azt akarjuk megmagyarázni, hogy egy tárgy miért esik le, mégsem olyan egyértelműek a dolgok. Lehet Einstein relativitáselméletéről, a tér-idő görbületéről beszélni, de ezt világosan elmondani mégis ne-

héz. Fontos az egyetemeken a kutatás és a felfedezés szabadságát megőrizni. Váratlan, új dolgok többnyire így születnek. Ahogy Karikó Katalin esetében is így volt.



Szalay Péter (Eötvös Loránd Tudományegyetem): Először is megköszönöm Bennnek, hogy látogatásával megtisztelt bennünket és főszerepet vállalt ebben a beszélgetésben. Büszkék vagyunk arra, hogy a Magyar Kémikusok Egyesülete társszervező lehetett. A beszélgetésben elhangzottak nagyon jól illeszkednek az Egyesület küldetéséhez. A kémia népszerűsítése rendkívül fontos feladatunk, ehhez ipari-akadémiai összefogást szervezünk. Ebbe az itt jelen lévőket is szeretném mind meghívni.

BF: Én is szeretném megköszönni a meghívást. Tudom, hogy ez nagy múltú egyetem, ahol sok érdekes és értékes kutatás folyik. A kémiai központi tudomány. Azt gondolom, hogy újra kell gondolnunk sok mindent: hogyan tehetnénk a kémiát fenntarthatóbbá, zöldebbé, hogyan használhatnánk fel kevesebb energiát, hogyan hasznosíthatnánk újra az anyagok még nagyobb részét. Az itt jelen lévő, tehetséges fiatalok teszik a jövő felfedezéseit. Mindenkit arra kérek, kövesse a saját álmait.

A beszélgetésről készült videofelvétel megtekinthető a Magyar Tudományos Akadémia YouTube-csatornáján:

<https://www.youtube.com/watch?v=pIpC13K8IZw>

Képek:

<https://www.flickr.com/photos/mtasajto/albums/72177720317034411/>

Lente Gábor

Ebéd a hallgatókkal

A pódiumbeszélgetés után a vendég a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem meghívására mintegy 30 doktori hallgatóval közös ebéden vett részt, amelyre az ország minden kémiai doktori iskolája küldhetett képviselőket. A Nobel-díjas az összes jelenlévőtől megkérdezte, hogy milyen témában végez kutatásokat, és hasznos meglátásokkal igyekezett a munkájukat segíteni.





Sajtóvisszhang

A délelőtti beszélgetésen a magyar sajtó képviselői is jelen voltak, az ő kérdéseikre Ben Feringa külön is válaszolt szűk fél órán át. Ez alapján a következő cikkek jelentek meg a vezető internetes hírportálokon:



telex

A kémikus, akinek a Simpson család jósolta meg a Nobel-díját

TECHTUD 2024. május 17. - 17:45



A kémikus, akinek a Simpson család jósolta meg a Nobel-díját:
<https://telex.hu/techtud/2024/05/17/ben-feringa-szerves-kemia-nobel-dij-molekularis-gepek-antibiotikum-rakkutatas>

Qubit.

HÍRLETÉR

Nobel-díjat érő molekuláris gépekkel szállunk harcba ősi ellenségeinkkel, a baktériumokkal



Tóth András
05.17. - TUDOMÁNY

Megosztás

Qubit+

Ha érdekel, hogyan működik a világ körülötted, de elegend van a konteókból, csatlakozz te is! [Csatlakozom](#)

Nobel-díjat érő molekuláris gépekkel szállunk harcba ősi ellenségeinkkel, a baktériumokkal:

<https://qubit.hu/2024/05/17/nobel-dijat-ero-molekularis-gepekkel-szallunk-harcba-osi-ellensegeinkkel-a-bakteriumokkal>

24
HU

TUDOMÁNY

Sokat tanulhatunk a testünkben lévő apró gépektől

Lugosi Péter 2024. 05. 23. 17:53



Sokat tanulhatunk a testünkben lévő apró gépektől:

<https://24.hu/tudomany/2024/05/23/bernard-feringa-nobel-dij-kemia-molekularis-gepek/>

Délutáni előadás

Május 16-án 16.15 kezdettel Ben Feringa az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Hevesy György Kémia Doktori Iskola szervezésében tartott tudományos előadást „The Art of Building Small from molecular switches to motors” címmel az ELTE konferenciatermében.

Az előadás videofelvétele megtekinthető a Magyar Tudományos Akadémia YouTube-csatornáján:

<https://www.youtube.com/watch?v=PWY8nEqb5IY>

Képek: <https://www.flickr.com/photos/mtasajto/albums/72177720317042258/>

Rövid találkozás Feringa professzorral

Május 17-én déltől a MTA Kémiai Osztály elnöke lehetőséget biztosított számomra egy félórás szakmai diszkusszióra Feringa professzorral, aki érdeklődéssel hallgatta néhány, a foszforkémiában elért fontosabb eredményünket, sőt egyik cikkünk pdf-fájlját el is kérte. Közös tudós ismerőseink is „terítékre kerültek”. A diszkussziót munkaebéd követte, amelyet Perczel András osztályelnök szervezett és amelyen Tompos András igazgató (HUN-REN) is részt vett. Témaként merült fel a homokiralitás eredete. Egyetérttünk, hogy nincs racionális válasz, csupán világnézeti megközelítés. Vendégünk érdeklődött az akadémiai kutatóhelyek és az egyetemek kapcsolatáról, illetve viszonyáról, mert Hollandiában is napirenden van ez a kérdés. Beszéltünk még a pandémia után bekövetkezett paradigmaváltásról is, ami új oktatási szokásokat hozott magával. Feringa professzor mind a mai napig a táblára írja szerves kémiai előadásai jelentős részét.

Megragadott a 72 éves vendég széles körű érdeklődése és tudása, szellemi és fizikai frissessége, különösen azután, hogy egy többnapos intenzív „roadshow” állt mögötte. Ebéd után egyenesen a Liszt Ferenc repülőtérre vezetett az útja.

Keglevich György