

BILLIÁRDOD MÁSODPERCNYI VILLANÁSOK

a hét kutatója

Krausz Ferenc az MTA külső tagja, a németországi Max Planck Kvantumoptikai Intézet igazgatója és a Münchener Tudományegyetem tanszékvezető egyetemi tanára néhány hete vette át Szaúd-Arábia fővárosában, Rijádban a nemzetközi Fejszál király-díjat az attofizika területén végzett kutatásaiért. A Németországban élő kísérleti fizikus munkáját már több jelentős díjjal és kitüntetéssel is elismerte a tudományos világ, hiszen kutatócsoportja elsőként állított elő és mért meg attoszekundumos fényimpulzust, megalapozva az attofizika tudományát.



– Az attoszekundum olyan parányi törtrésze az időnek, amelyről egy normál halandónak elképzelése sem lehet. Egy fizikus nyilván másként látja a folyamatok időbeli lefutását. Miért éppen ebbe az irányba fordult az érdeklődése?

– Mint annyi más dolog az életben, ez is jórészt a véletlen műve. Ha nem éppen akkor építette volna Juhász Tibor, Bakos József professzor úr irányítása alatt a Budapesti Műegyetem első rövidimpulzusú lézert, amikor én (1985-ben) diplomamunkát kerestem, talán ma semmi közöm ehhez a kutatási területhez. Jóllehet az akkori lézer fényimpulzusai még több ezerszer hosszabbak voltak, mint amire a mai technikák képesek, az általuk nyújtott lehetőség, miszerint a mikroszkopikus folyamatokba közvetlenül bepillantunk, az első pillanattól fogva magával ragadott, és azóta sem engedett el. Érdeklődésemet az elektronok és atomok mikrokozmosza iránt már Simonyi Károly professzor legendás elektronfizika és Marx György professzor nem kevésbé legendás kvantummechanika előadásai felkeltették. Valamivel később Arnold Schmidt professzor a Bécsi Műegyetemen „gondoskodott” róla, hogy a megkezdett utat folytassam. Legfőképpen világhírű tanárainak és konzulenseimnek köszönhetem,

hogy ezen a területen ragadtam. A tőlük kapott világszínvonalú képzés és kutatási lehetőség alapozta meg a pályafutásomat, attól függetlenül, hogy akkoriban aligha sejtette valaki, hogy az út az attoszekundumokban mérhető folyamatokig vezet. De talán éppen ez a legcsodálatosabb a mi mesterségünkben, azt ugyan tudjuk, hogy merre indulunk, de azt már alig, hogy hova érünk...

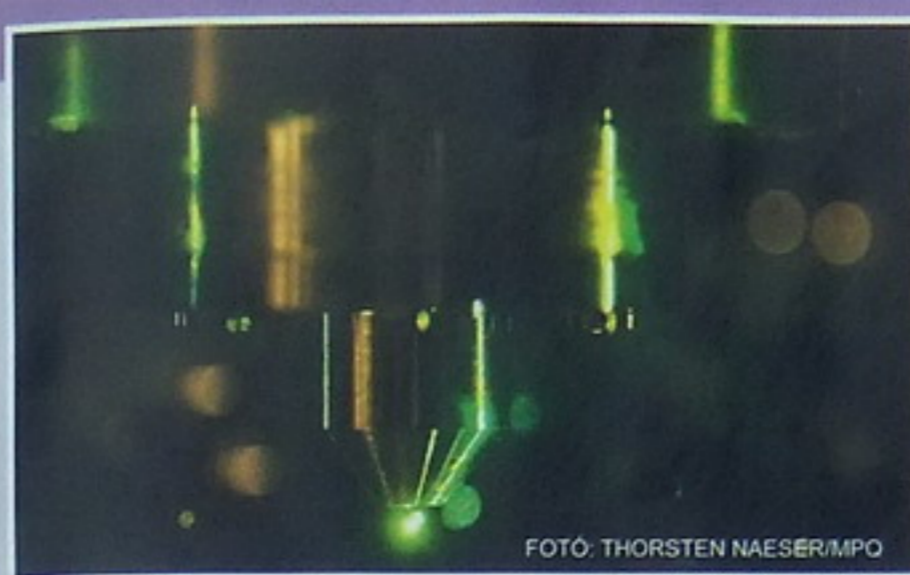
– A lézertechnikában korábban is voltak világraszóló eredményei. Az Ön – és egy másik magyar fizikus, Szépőcs Róbert – nevéhez fűződik az úgynevezett diszperziót kompenzáló tükrök feltalálása, amelyeket ma már a világban működő több ezer femto-szekundumos lézerrendszerben alkalmaznak. Milyen technikai áttörésre van szükség ahhoz, hogy még ennél is parányibb tartamokra szeleteljék fel az időt?

– Az említett tükrökkel sikerült – számos kutatócsoport munkájának köszönhetően – a látható fényű lézerimpulzusok időtartamát az elméleti minimumra, kb. egy rezgési periódusra rövidíteni. Mivel a fény hullámként terjed, egy hullámperiódus a minimum, amelyre az időtartama (illetve térbeli hossza) csökkenthető. Ez az általunk használt vörös fény esetében néhány femtoszekundumos időtartamnak felel meg – 1 femtoszekundum a

másodperc billiárdod része. Ez az időtartam elég rövid ahhoz, hogy még a leggyorsabb atomok mozgását is éles pillanatfelvételeken rögzítsük, ahhoz hasonlóan, ahogy atlétikai versenyeken a befutóról készül célfoto. Ezek a mozgások, ha molekulákban történnek, szerkezetük megváltozásához és akár kémiai reakciókhoz vezethetnek. Így a femtoszekundumos lézerimpulzusokkal lehetővé vált a kémiai folyamatok „lefilmezése” és lassított felvételen való megjelenítése, amiért Ahmed Zewailt, a Kaliforniai Műegyetem (CALTECH) kutatóját 1999-ben kémiai Nobel-díjjal tüntették ki. Az elektronok több mint ezerszer könnyebbek – és következésképp fürgébbek –, mint az atomok, ezért lefilmezésükhöz sokkal rövidebb, attoszekundumos (1 attoszekundum a femtoszekundum ezredrésze) fényvillanásokra van szükség.

– Hogyan lehet ilyen időtartamú fényfelvillanásokat előállítani?

– Ezek látható fény formájában – amelynek egyetlen rezgési periódusa túl hosszú, csupán néhány femtoszekundumnyi – nem állíthatók elő. Erre csak a látható fénynél sokkal rövidebb hullámhosszú, ibolyántúli, illetve extrém ultraibolya fény alkalmas. Az egyetlen rezgési periódusból álló látható fényű lézerimpulzusok mégis kulcsszerepet játszanak a náluk sokszorosán



FOTÓ: THORSTEN NAESER/MPO

rövidebb attoszekundumos ibolyántúli fényvillanások előállításában. Rendkívüli elektromos térerejük képes atomokat a lézer rezgési periódusának törtrésze alatt olyan antennává alakítani, amely ultraibolya villanást sugároz ki. A kisugárzott ibolyántúli fényvillanás időtartama a gerjesztő fényhullám rezgési periódusának töredéke, következésképp attoszekundumokban mérhető. Legalábbis ez az elméleti jóslat. A kibocsátott ultraibolya fényvillanások időtartamát több éves kutatómunka eredményeként 2001-ben sikerült kísérletileg bizonyítanunk. Az ehhez szükséges mérési eljárás legalább olyan fontos eleme a kísérleti attofizikának, mint maga az attoszekundumos villanások előállítása.

– Egyelőre az atomokon belül tudják megjeleníteni az elektronok mozgását. Mennyivel bonyolultabb feladat ugyanezt molekulákon, sőt makromolekulákon belül megtenni?

– Valóban, az első alkalmazások egyszerű atomokra szorítkoztak. Ennek jó oka volt: egy új kísérleti technika bevezetésekor az elsődleges feladat annak bebizonyítása, hogy a technika úgy működik, ahogy elvárjuk tőle. Ehhez persze a lehető legegyszerűbb – és következésképp elméletileg pontosan leírható – rendszerekre van szükség. Ebben az esetben atomokra, amelyeken „vizsgáztathatjuk” az új mérés technikát, összevethetjük az elméletet a gyakorlati tapasztalatokkal. Ez időközben, az attofizika első évtizedében sikeresen megtörtént és lezárult. Az új kihívás ezek után valóban lényegesen komplexebb rendszerekben, mint például biológiai molekulákban lejátszódó összetett folyamatok vizsgálata.

A nehézség itt elsősorban abban rejlik, hogy a jelenleg rendelkezésre álló

tényleges megjelenítését jelenti. Ehelyett jelenleg még csak az elektronok kvantumállapota egyes jellemzőinek változását mérjük az attoszekundumos időskálán. Ebből egyszerű rendszerek esetén elméleti modellek segítségével megbízhatóan rekonstruálható az elektronok mozgásának lefolyása. Az ehhez szükséges modellek komplex rendszerek esetén sajnos még gyerekcipőben járnak, illetve sok esetben egyáltalán nem léteznek. Ugyhogy van még tennivaló, de nem csak elméleti oldalon. A kihívásra tökéletes megoldást jelentene, ha az attoszekundumos villanásokat ultraibolya fénysugárzás helyett röntgensugarak formájában lehetne előállítani. Mivel a röntgensugarak hullámhossza az atomok méretével

összemérhető, illetve akár rövidebb is lehet, így azok képesek az elektronok eloszlását atomi rendszerekben, molekulákban, sőt szilárd testekben közvetlenül megjeleníteni. Amennyiben ezek a röntgensugarak attoszekundumnyi időtartamra villannának fel, úgy valódi pillanatfelvételek készíthetnénk az elektronok molekulán belüli eloszlásáról. Ezekből mozgásuk bármilyen komplex rendszerben reprodukálható lenne. A mikrokozmosz (atommagokon kívüli) egyetlen folyamata sem maradhatna rejtve az attoszekundumos röntgenvillanásokon alapuló „elektron-videokamera” elől.

– Ezek a kutatási eredmények itt, Magyarországon is hasznosulhatnak?

– Magyarországon az ELI-ALPS (ELI: Extreme Light Infrastructure, ALPS: Attosecond Light Pulse Source) nevű projektnek köszönhetően kulcsszerepet játszhat az attoszekundumos fény-

villanások röntgentartományba való kiterjesztésében és ezáltal az első elektron-videokamera megalkotásában. Ezzel valóban megnyílhat az út, hogy az alapok, az elektronok és atomok mozgásának szintjén vizsgáljunk komplex biológiai folyamatokat, amelyeknek szerepe lehet például a rákos daganatok vagy az Alzheimer-kór kialakulásában.

De nem csak az élettudományok és a gyógyítás számára hozhat – hosszú távon – jelentős eredményeket az elektronok mozgásának, illetve azok kiváltó okainak megértése. Az elektronok félvezető nano-áramkörökben történő mozgása teszi lehetővé mindazt, amit ma természetesnek veszünk, a nagysebességű komputeres adatfeldolgozást



FOTÓ: THORSTEN NAESER/MPO

vagy az internetes szörfölést. Az elért magas fejlettségi színvonal ellenére az elvárások az elektronika további felgyorsítása irányába egyre nagyobbak. Nagyságrendekkel nagyobb teljesítőképességű komputerekre lenne például szükség ahhoz, hogy a természeti katasztrófákat megbízhatóan előre jelezhessék. Abban, hogy az elektronikus jelfeldolgozást az elméletileg elérhető sebességhatár – a látható fény rezgési frekvenciája – közelébe fel tudjuk gyorsítani, az attoszekundumos mérés-technika kulcsszerepet fog játszani. Magyarországon az ELI-ALPS projekt sikeres megvalósításával ezeken a létfontosságú kutatási területeken igazi nagyhatalommá válhat.

Nem utolsósorban ezen cél elérése érdekében erősödik kutatócsoportom együttműködése szinte napról napra a nemzetközi hírű magyar lézeres kutatóközösség egyre több tagjával.

MONTSKÓ ÉVA