

SOLVAY-KONFERENCIA, BRÜSSZEL 2017

A Solvay-konferenciasorozatot *Ernest Solvay* indította el Brüsszelben, 1911-ben. Ezek a konferenciák a kezdetektől az adott korszak legnevesebb fizikusai (annak idején például *Mme. Curie, Einstein, Bohr, Rutheford* stb.) vettek részt, és ahogy *Heisenberg* 1932-ben kijelentette: a Solvay-konferenciák lényeges módon járultak hozzá a fizika fejlődéséhez. Elődeink ugyanis ezen „hősi időkben” dolgozták ki a huszadik századi fizika alapjait – a kvantummechanikát és a relativitáselméletet –, amelyek az egész mai természettudomány (fizika, kémia, biológia) és technológia (számítógépek, mobilkommunikáció, nukleáris energetika stb.) fundamentumát adják.

A Solvay-konferenciák nemes tradíciója több, mint 100 éve folytatódik. Az idei évben is több Solvay-konferenciát és workshopot rendeztek, ezek közül az egyiket *From physics of graphene to graphene for physics*¹ címmel 2017 szeptemberében. A cím azt fejezi ki, hogy míg a grafén felfedezése utáni években először annak fizikáját kellett megérteni, most már azon van a sor, hogy a fizikában és az alkalmazásokban milyen hozzájárulást ad a grafén.²

Ez a konferencia igen fontos volt a magyar kutatók, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetének munkatársai számára, ugyanis a grafénnel és más kétdimenziós anyaggal már több, mint egy évtizede foglalkozunk. Kutatócsoportunk az EU egyik kiemelt kutatási programjának – *Graphene Flagship*³ – is tagja. Magyar részről e projekt vezetője *Biró László Péter*, a hazai nanotechnológia-kutatás egyik megalapítója és *Márk Géza István*, aki részt vett a Solvay-konferencián.

A konferencián három Nobel-díjas is részt vett, egyikük *Konstantin Novoselov*, a grafén egyik felfedezője a kétdimenziós anyagokról tartott előadást. Ezen anyagcsalád első tagja a grafén volt, de mára már több százat ismerünk, amelyek egy, vagy néhány atomi réteg vastagságú lemezek. Különlegességük, hogy hosszúságuk és szélességük makroszkopikus, de a vastagságuk mikro-, sőt nanoszkopikus méretű – ezért nevezzük őket 2D anyagnak. A 2D formájú anyagok gyakran egészen új tulajdonságokkal rendelkeznek, mert egyrészt a 2D anyag teljes felületén érintkezik a környezettel, másrészt az elektronok csak kettő irányban mozoghatnak benne szabadon. További – és szinte végtelen – variációs lehetőségeket ad, ha a 2D anyagból különféle alakú részeket kivágunk, vagy különböző tulajdonságú 2D anyagokat egymásra helyezve szendvicsszerkezeteket készítünk. Így például két szigetelő réteg közé egy vezető vagy félvezető réteget lehet elhelyezni.

Ezen a területen – hogyan lehet nanoméretű alakzatokat kivágni egy grafénlemezből – néhány évvel ezelőtt a mi kutatócsoportunk is ért el világraszóló eredményeket.

Abból, hogy az elektronok csak két irányban mozoghatnak szabadon a grafénben, következik, hogy kvantumos Hall-viselkedés figyelhető meg a grafénnel. A Hall-effektus abból adódik, hogy az áramra merőleges irányú erő gyakorol a mágneses tér. E jelenség kvantumos változatát *Klaus von Klitzing* (Nobel-díj, 1985) fedezte föl. Akkor még nem léteztek 2D anyagok, de határfelületeken már létre tudtak hozni 2D elektrongázt. A grafén, mint valódi 2D anyag új távlatokat nyit ezen a téren. Von Klitzing volt a Solvay-konfe-

rencia másik Nobel-díjas résztvevője, előadásában arról beszélt, hogy a grafén segítségével az SI mértérendszer mértékrendszerként helyezik új alapokra. Az SI mértérendszerben a kilogramm etalonja egy nagy pontossággal elkészített, szigorúan őrzött tárgy. Az SI megújítása során új, megsemmisíthetetlen, alapokra helyezik a mértérendszer, minden alapegységet az atomok tulajdonságaira és az univerzális állandókra (mint például az elektron töltése, a Planck-állandó stb.) vezetünk vissza. Ehhez viszont nagyon pontosan kell mérni az atomi tulajdonságokat, amiben a grafénnel mérhető kvantum Hall-effektus segít. Így az új SI-ben nincs szükség kilogrammetalonra, a mindenütt jelenlévő és tökéletesen egyforma atomok adják az új etalonokat.

A grafén a spintronika szempontjából is ígéretes anyag. Hagyományos elektronikus eszközeink az áramokon és feszültségeken alapulnak, az áram és a feszültség viszont abból adódik, hogy az elektronnak elektromos töltése van. Azonban az elektron – mint elemi részecske – nem csupán elektromos töltéssel rendelkezik, hanem önálló mágneses momentuma, spinje is van. A technológiában már eddig is felhasználták a mágneses tulajdonságokat, például a hard diszkek esetén, ahol mágneses módon történik az adattárolás. A konferencián előadást tartott a Nobel-díjas *Albert Fert*, akinek „óriás mágneses ellenállás” felfedezésén alapul a mai, nagy kapacitású hard diszkek működése. Ezek azonban mozgó alkatrészeket tartalmaznak, sérülékenyek és lassúak. Az elektronikus eszközök viszont csak az elektron töltését használják fel, a spinjét nem. Ahhoz, hogy az elektronikus eszközökben áramokat és feszültségeket mozgassunk, jelentős energiát kell befektetni, amelynek egy része ráadásul hulladékhővé alakul. Ezen változtathatnak a spintronikai eszközök, ahol az információt az elektronok spinje hordozza.

Tapasztó Levente, az MTA „Újszerű 2D Anyagok Nanomegmunkálása” Lendület Kutatócsoport és az MTA EK MFA Nanotechnológiai Osztály vezetője, aki 2015-ben az European Research Council Starting Grant öt éves, 1,5 millió euróra rúgó kutatási támogatását is elnyerte, munkatársaival kimutatta, hogy habár a 3D szén önmagában nem mágneses anyag, a 2D grafénből kivágott nanoszalag bizonyos körülmények között ferromágneses vagy antiferromágneses viselkedést mutat. Ebből, a *Nature* folyóiratban publikált eredményből kiindulva *Tapasztó Levente Hagymási Imrével* és *Vancsó Péterrel* kimutatta, hogy grafén nanoszalagokból új fajta, háromállapotú tranzistorokat lehet készíteni, amelyek egyszerre, vezérelhető módon mutatnak elektronikus és spintronikus viselkedést.

A 2D nanoelektronikai eszközök működésének megértéséhez, tervezéséhez szükséges az elektron viselkedésének szimulációja. Ezt teszi lehetővé a *Márk Géza István* és munkatársai által kidolgozott hullámcsomag dinamikai programcsomag, amit be is mutattak a konferencián.

Az imént felsorolt eredmények mellett még sok fontos és érdekes munkáról számoltak be a konferencián. Egyik ilyen az olcsó, grafénalapú infravörös kamerák létrehozása volt. A jelenleg létező infravörös kamerák igen drága eszközök, a konferencián bemutatott egyik kutatás ezen kamerák árának drasztikus csökkentését célozza, így néhány év múlva az IR kamerák akár a mobiltelefonok részeivé válhatnak.

A több mint száz éve, az első Solvay-konferenciákon elvetett magok termőre fordultak – az akkor megalapozott, kezdetben egzotikusnak ható kvantummechanika a mindennapi és a jövőbeni eszközeink működésének alapját képezi.

Márk Géza

¹ A grafén fizikájától a grafén a fizikábanig – http://www.solvayinstitutes.be/event/workshop/graphene_2017/graphene_2017.html

² A grafén a szén egy atomnyi vastagságú (vékonyágú) rétegét jelenti.

³ Zászlóshajóprogram – <http://graphene-flagship.eu>