

Szerző: Bencze Áron

# Kvantumszámítógép – a jövő szupermasinája?

Az egyelőre kísérleti fázisban lévő kvantszámítógép képes lehet olyan számítások hatékony elvégzésére, amelyek a hagyományos, digitális számítógépekkel gyakorlatilag megoldhatatlanok. **Nemcsics Ákos**, az Óbudai Egyetem Mikroelektronikai és Technológia Intézetének professzora szerint az új gép azonban nem alternatívája a jelenleg használtaknak, ezért talán nem is nevezhető a számítástechnikai eszköz evolúciós ugrásának. Mint fogalmazott, a kvantszámítógép egészen egyszerűen más. A professzor segítségével annak próbáltunk utánajárni, milyen elven működik, és mire lesz elsősorban alkalmas a fejlesztés.

„A kvantszámítógép (qubites) leszűkített szóhasználatban a szuperponált és összefonódott állapotokkal operáló eszköz, melyben az információ alapegysége nem a bit, hanem a qubit” – definiálta elsőként az alapfogalmat Nemcsics Ákos. Bármilyen meglepő, a kvantszámítógép története több évtizedes, először 1980-ban **Paul Benioff** amerikai fizikus vetette fel, hogy a kvantummechanikát számításokra lehetne használni, rá egy évre **Richard Feynman** Nobel-díjas fizikus pedig meg is alkotta a kvantszámítógép kifejezést. Mindössze négy évet kellett várni arra, hogy az Oxfordi Egyetem fizikusa, **David Deutsch** leírja, hogyan működne az akkor még csak elméletben létező fejlesztés. Az elmélet lényege: míg egy hagyományos számítógép esetében az információt bináris, más néven kétállapotú bitekben – a klasszikus bit bármely időben 0 vagy 1 állapotú – tárolják, a kvantumrendszer úgynevezett szuperponált állapotában a kvantumbit (qubit) egyazon időben tartalmaz olyan komponenseket, amelyek egyidejűleg több helyen, különféle állapotokban lehetnek. Éppen ennek a szuperponáltságnak köszönhetően a gép a különböző bemenő adatokat párhuzamosan dolgozza fel, és a kimenő adatokat szuperponált alakban hozza létre. A magyar származású **Joseph Reger**, a Fujitsu regionális technikai igazgatója, érzékeltetve a kvantszámítógépben rejlő potenciált, a cég egyik müncheni rendezvényén úgy fogalmazott: egy 80 kvantumbites szimulációhoz a látható univerzummal azonos méretű hagyományos számítógépre lenne szükség, és egyetlen kvantumművelet elvégzése az univerzum életkorával azonos ideig tartana. A kvantszámítógépek a konkrét számolásokat kvantumalgoritmusok segítségével végzik. Ezek

a kvantumalgoritmusok egy és két kvantumbites műveletekből építhetők fel. Ezeket az elemi műveleteket és a műveleteket megvalósító fizikai eszközöket is kvantum logikai kapuknak nevezzük, és maga a kvantumszámítógép éppen ezeknek a kvantum logikai kapuknak az összessége. A kapuk meghatározott qubiteken hajtanak végre változtatásokat, ami aztán az egész összefonódott állapot megváltozását eredményezi.

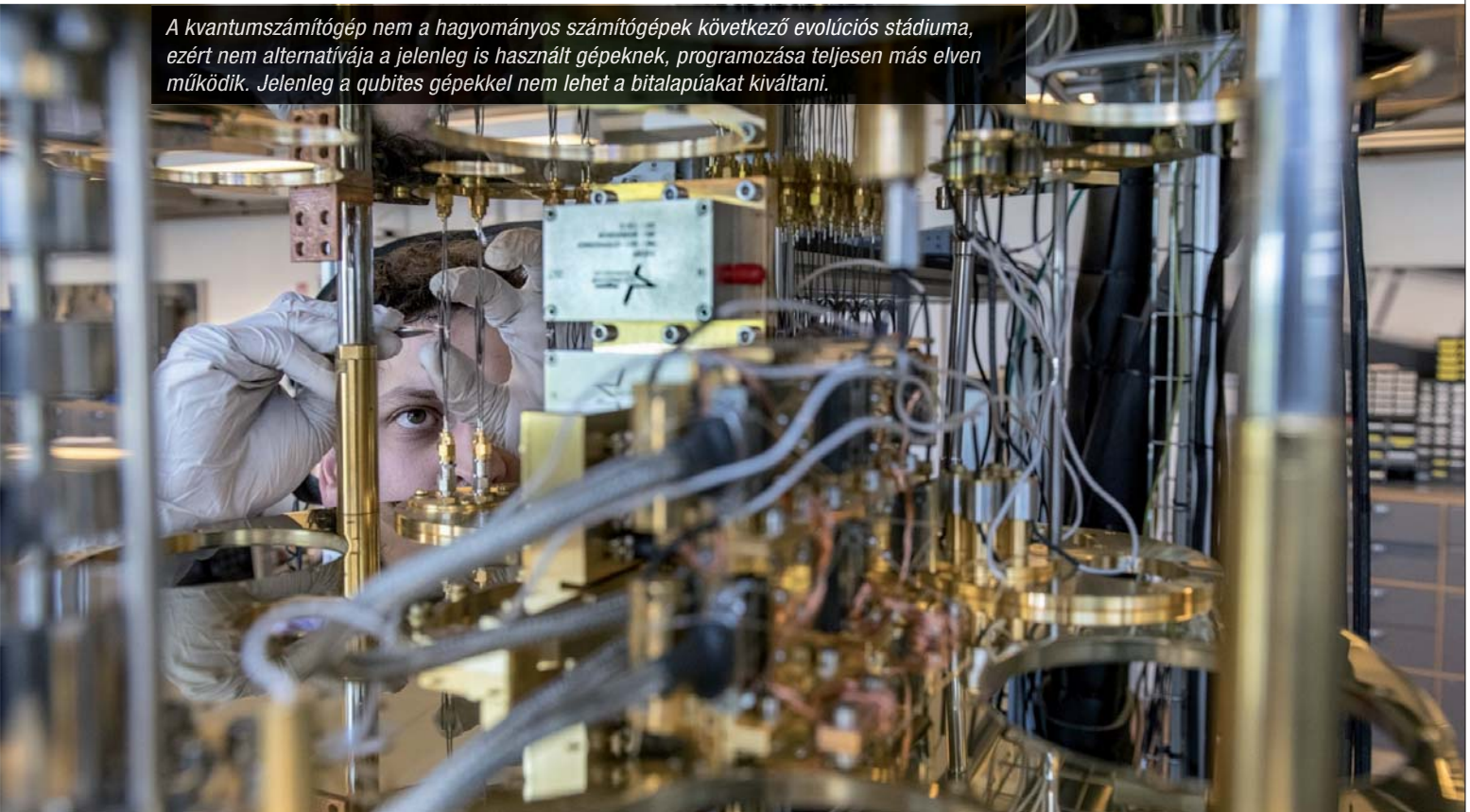
### Egyszerűen más

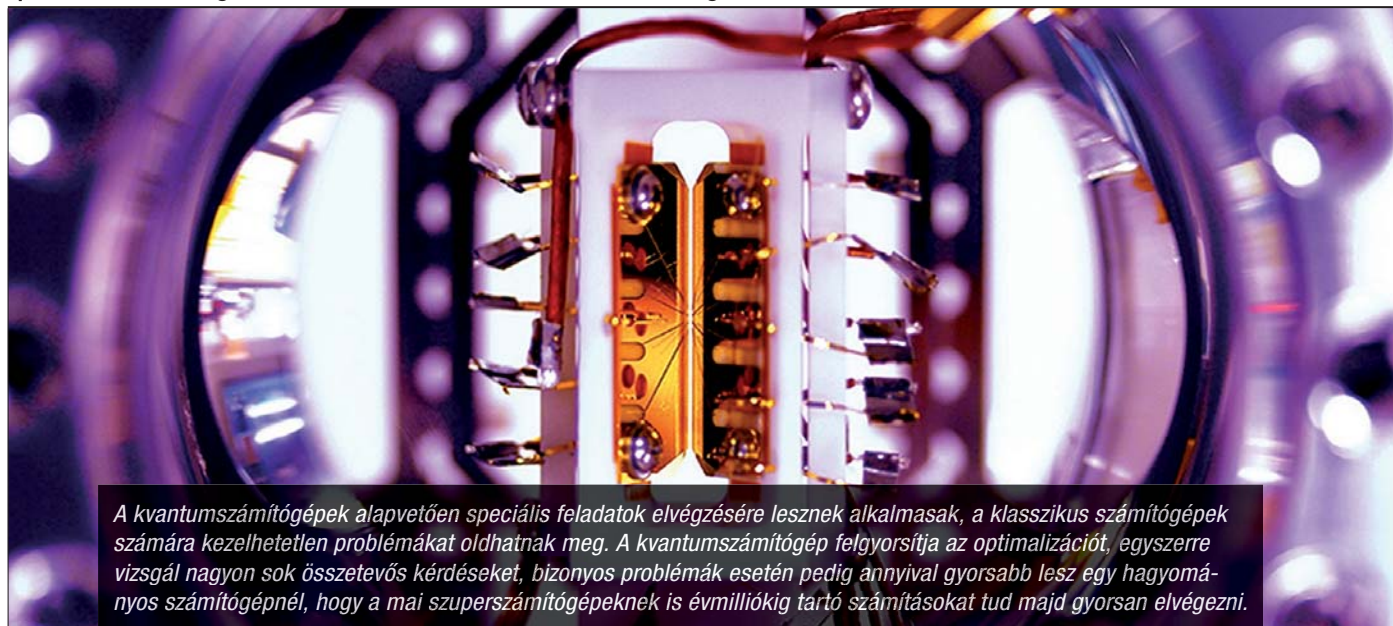
„Amennyiben sikerül a kvantumszámítógép megvalósítása, akkor az a párhuzamosság révén a klasszikus számítógépek számára kezelhetetlen problémákat oldhat meg – foglalta össze a fejlesztés jelentőségét Nemcsics. – Ez a modell nem a hagyományos számítógépek következő evolúciós stádiuma, hanem egészen egyszerűen egy másik utat nyit meg előttünk.” Mint fogalmazott, a kvantumszámítógép éppen ezért nem alternatívája a jelenleg is használt gépeknek, programozásuk teljesen más elven működik, és jelenlegi tudásunk szerint a qubites gépekkel nem tudjuk a bitalapú társaikat kiváltani, ráadásul alapvetően speciális feladatok elvégzésére lesznek alkalmasak. A professzor példaként a titkosításokat és kódolásokat említette, ugyanis egy qubites géppel készült titkosítás a hagyományos bitalapú géppel feltörhetetlen. De kémiai reakciók szimulálására vagy molekulaszervezetek számolására is alkalmasak lehetnek ezek a szerkezetek. A kvantumszámítógépek nem csak a nagy számok törzstényezőinek megkeresésében lennének hasznosak, egyfajta természetes laboratóriumai lehetnének a kvantummechanikai összefüggések vizsgálatának. Ezekkel az eszközökkel, a megfelelő programok futtatása révén, a kutatók más kvantumrendszereket tanulmányozhatnának. A kvantumszámítógép emellett felgyorsítja az optimalizációt, egyszerre vizsgál nagyon sok összetevős kérdéseket, bizonyos problémák esetén pedig annyival gyorsabb lesz egy hagyományos számítógépnél, hogy a mai szuperszámítógépeknek is évmilliókat tartó számításokat tud majd

### Szeptikus gondolatok

Nem csak rajongói, szeptikusai is vannak a kvantumszámítógépnek. **Gil Kalai**, a Yale és a Jeruzsálemi Héber Egyetem matematikaprofesszora például egy interjújában azt állította, hogy a köznap értelemben működő kvantumszámítógép megépítésével alapvető matematikai problémák vannak. A Magyar Tudományos Akadémia tiszteletbeli tagjának választott elméleti matematikus az instabilitás és a sérülékenység mellett az úgynevezett zajosságot említi. „A zajon a számítási folyamat hibáit értem, a zajérzékenység pedig annak a mértéke, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy ezek a hibák hatással lesznek a folyamat kimenetelére. A kvantumszámítás a természet más jelenségeihez hasonlóan tele van ingadozásokkal, véletlen hibákkal, vagyis zajjal. Amikor egy kvantumszámítógép végrehajt egy műveletet, a qubit minden számítógépes ciklusban óhatatlanul sérül” – fogalmazott a tudós. **Boaz Barak**, a Harvard Egyetem számítástudomány professzora 2017-ben egy esszében arról ír, hogy a szuperpozíciók okán a mainál nagyságrendekkel több, párhuzamos számítási folyamatot feltételező kvantumkapacitás kihasználása nem tisztázott. A fejlesztők által emlegetett kriptográfiai és faktorálási előnyöket hosszabb távon okafogyottá teheti a klasszikus, de már nanoáramkörök irányában fejlődő számítástechnika is. **Nemcsics Ákos** szerint pénz és idő kérdése, hogy az említett problémákat kiküszöböljék a kutatások, és mint fogalmazott, szerencsére az ember alapvetően kíváncsi természet, és a tudomány alapvetően sosem a szeptikusok kifogásaival foglalkozik, hanem mindig valami újat akar létrehozni.

A kvantumszámítógép nem a hagyományos számítógépek következő evolúciós stádiuma, ezért nem alternatívája a jelenleg is használt gépeknek, programozása teljesen más elven működik. Jelenleg a qubites gépekkel nem lehet a bitalapúakat kiváltani.





A kvantumszámítógépek alapvetően speciális feladatok elvégzésére lesznek alkalmasak, a klasszikus számítógépek számára kezelhetetlen problémákat oldhatnak meg. A kvantumszámítógép felgyorsítja az optimalizációt, egyszerre vizsgál nagyon sok összetevős kérdéseket, bizonyos problémák esetén pedig annyi gyorsabb lesz egy hagyományos számítógépnél, hogy a mai szuperszámítógépeknek is évmillióig tartó számításokat tud majd gyorsan elvégezni.

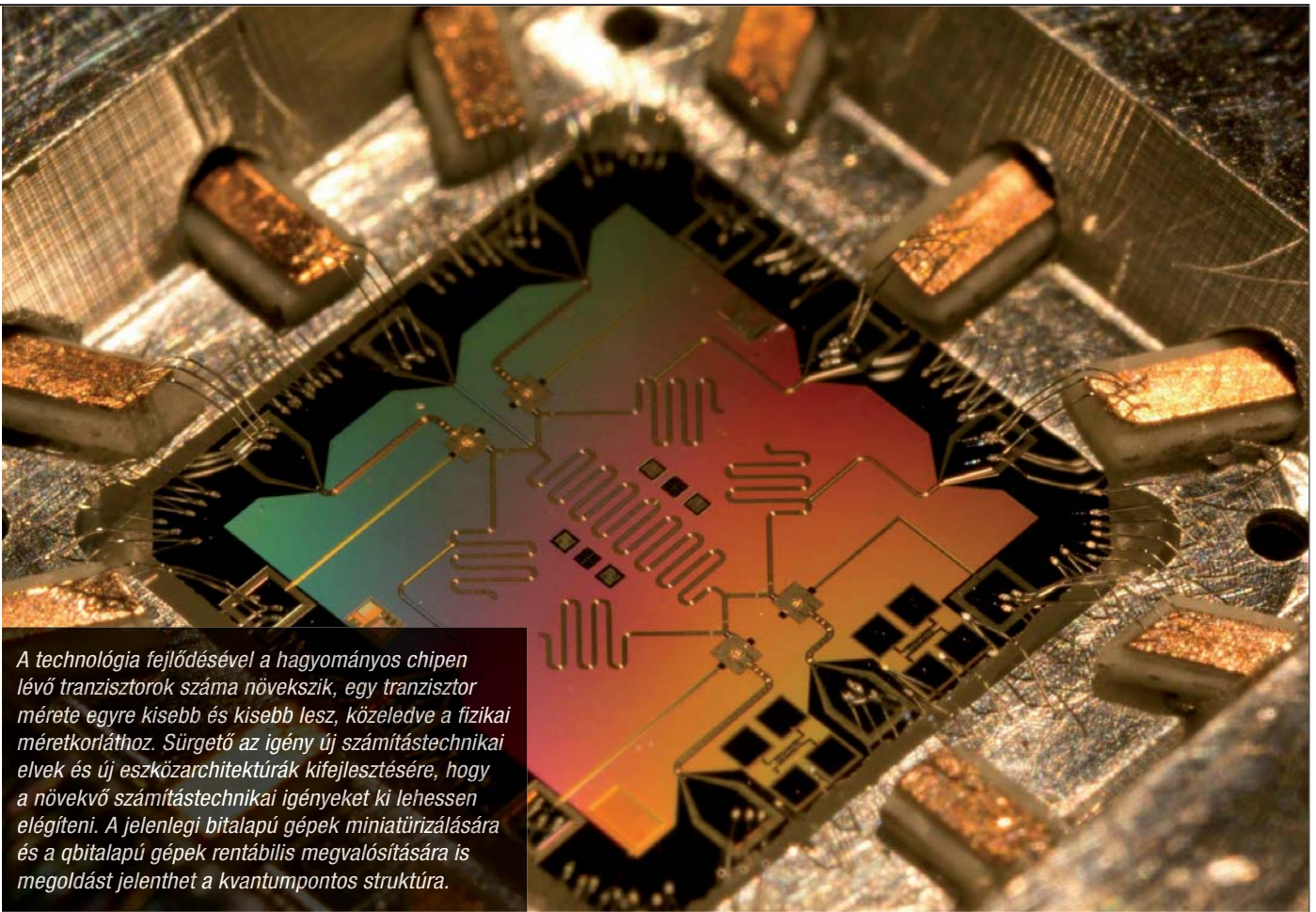
gyorsan elvégezni. A hangsúly a „majd” szón van, ugyanis az elméleti sikereket a gyakorlatba még nem tudták átültetni. A korábban említett párhuzamosság sérül, miután a mérések idején a qubitek szuperpozíciója összeomlik, és egyetlen klasszikus állapotot vesznek fel. Problémákat vet fel, hogy a rendszer annyira érzékeny, hogy az összeomlást a legapróbb külső hatás is kiválthatja. Az 50 qubites géppel rendelkező IBM is mindössze 90 mikroszekundum, azaz milliomod másodperc erejéig volt képes a rendszert stabilizálni. A kvantumtechnológiában élenjáró Google, az Intel vagy a San Franciscó-i Rigetti nevű startup sem tudta ezt az időkorlátot lejjebb szorítani.

## Kvantumpontos irány

Míg a hagyományos számítógépek úgynevezett mikroelektronikai eszközök, azaz az egyes építőelemek főbb méretei mikrométer, illetve mikrométer alatti nagyságrendűek. A deklaráltan felhasadt kvantumállapotokat használó eszközök karakterisztikus mérete viszont már nanométer. „Tehát elviekben nagyságrendekkel kisebb méretű lehet a kvantumszámítógép »lelke«” – emelt ki egy fontos tényezőt Nemcsics Ákos, aki a megvalósítási alternatívákkal kapcsolatosan elsőként arra hívta fel a figyelmünket, hogy jelenleg több irány is versenyzik egymással. „Korábban a nagy számítógépeknél álltunk sorba lyukkártyáinkkal, ma már mindenkinek van saját laptopja. A kvantumszámítógépekkel most hasonló a helyzet. Attól, hogy populáris legyen, még eléggé távol vagyunk” – jegyezte meg. A jelenlegi számítógép áramköreinek megvalósítása alapvetően rajzolatkészítéssel, litográfiával történik. Nanométerekben azonban ez az út nem járható. „A struktúrák kialakítása,

## Magyarország is felzárkózik

Egy évvel ezelőtt, 2018 februárjában jelentették be a Magyar Tudományos Akadémia székházában a Nemzeti Kvantumtechnológiai Programot. Az akadémiai, felsőoktatási és vállalati kutatóhelyek összefogásával megvalósuló tervet négyéves működése alatt az állam 3,5 milliárd forinttal támogatja. A HunQuTech konzorciumot az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont vezetésével a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, az Eötvös Loránd Tudományegyetem, az MTA Energiakutató Központja, valamint az Ericsson Magyarország, a Nokia Bell Labs, a Bonn Hungary Electronics és a Femtonics alkotja. **Domokos Péter**, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont kutatóprofesszora és a konzorcium tudományos vezetője akkor úgy fogalmazott, a partnerek arra törekednek, hogy becsatolják Magyarországot az európai kvantuminternet kiépülőben lévő hálózatába, megőrizték és javítják a kutatók versenyképességét a kvantumtechnológia területén. A projekt olyan eredményekre pályázik, mint a két pont közti kvantumosan titkosított kvantumkommunikáció és a kvantumbit műveletek végrehajtása, ami a kvantumszámítás alapja. A főbb célok közé tartozik továbbá egy atom-foton interfész építése, amellyel egy fotonban hordozott kvantuminformációt beírhatnak egy atomba, így az hosszú ideig tárolható lesz – ezt a gyakorlatban kvantummemóriaként lehet használni. Az egyelőre még alapoknál tartó európai kvantuminternet-hálózathoz csatlakozás első lépéseként a projekt keretein belül megpróbálnak létrehozni ilyen kapcsolatot. Domokos Péter a négyéves ciklus ütemezéséről elmondta, hogy a program első éve a felkészülésről, a szükséges laboratóriumok kialakításáról szól, a kísérletek a második évben, azaz 2019-ben kezdődnek, a harmadik évet pedig a szakemberek által megalkotott eszközpark alkalmazására szánják. A fejlesztések gyakorlati megvalósítására a program záró szakaszában kerülhet sor. A négyéves projekten 17 kutatócsoport dolgozik majd, minimum 80 kutatóval, és összesen 38 feladatot állítottak maguk elé. A magyarországi kutatók egyetértenek abban, hogy annak ellenére is fontos a program megvalósítása, hogy az Amerikai Egyesült Államokban vagy Kínában már jóval korábban megkezdődtek a kutatások a témában. A Nemzeti Kvantumtechnológiai Program hatására természetesen nem válunk kvantumnagyhatalomká, ám ahhoz, hogy fel tudjunk készülni erre a korszakra, nekünk is komoly energiákat kell fordítani rá. **Pálkás József** az alakuló ülésen – még a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal elnökeként – egyebek között úgy fogalmazott, hogy egyrészt alkalmazkodnunk kell a világtrendekhez, másrészt azokat a területeket érdemes kiemelten támogatni, ahol megvan az a kritikus tömeg, amely a siker esélyét növeli. Véleménye szerint hazánkban ez a kritikus tömeg létezik. Az Európai Bizottság is hangsúlyos szerepet szán a területnek, ezért célzott programokat indítottak, egy tíz éven keresztül 1 milliárd eurós alappól gazdálkodó program keretein belül. Ebben meghatározták a kvantumtechnológiák négy pillérét, és az azokhoz kötött elvárásokat, 2035-ig bezárólag.



*A technológia fejlődésével a hagyományos chipen lévő tranzisztorok száma növekszik, egy tranzisztor mérete egyre kisebb és kisebb lesz, közeledve a fizikai méretkorláthoz. Sürgető az igény új számítástechnikai elvek és új eszközarchitektúrák kifejlesztésére, hogy a növekvő számítástechnikai igényeket ki lehessen elégíteni. A jelenlegi bitalapú gépek miniatürizálására és a qbitalapú gépek rentábilis megvalósítására is megoldást jelenthet a kvantumponos struktúra.*

például az atomok egyenkénti mozgatásával ugyan megoldható, de műszakilag ez nem jó megoldás” – vélekedett a professzor. Véleménye szerint az egyik ígéretes lehetőség a kvantumponos (kvantumponokból álló) megvalósítás lehet, ez a fajta realizáció a bit- és qbitalapú gépek közötti információs kapcsolat lehetőségét is magában hordja, melyet tágabb értelemben vett kvantumszámítógépként lehetne aposztrofálni. Magyarozatképpen hozzátette: „Az elektronikus áramkörök, így a számítógépek is kvantummechanikai effektusokat kihasználva működnek.” A jelenlegi számítógépek processzorai digitális kapukból épülnek fel, azok alapegysége a tranzisztor, melynek működése szintén kvantummechanikai alapokon nyugszik. „A jelenlegi MOS-alapú technológia miniatürizálását egy megfigyelésen alapuló előrejelzés, a Moore-törvény írja le, mára pedig elérteztünk abba a stádiumba, hogy a további méretcsökkentésnek a biztonságos működést veszélyeztető, illetve ellehetetlenítő a hatása” – fogalmazott Nemcsics Ákos. A technológia fejlődésével egyre nagyobb a készülékek integrációja, a chipen lévő tranzisztorok száma növekszik, egy tranzisztor mérete pedig egyre kisebb és kisebb lesz. Így közeledik a fizikai méretkorláthoz, feltehetően a Moore-törvény korszakának vége. Sürgető az igény új számítástechnikai elvek és új eszközarchitektúrák kifejlesztésére, hogy a növekvő számítástechnikai igényeket ki lehessen elégíteni. Mint folytatta, a miniatürizálás egyik következménye a disszipáció, azaz a hőelvezetés problématikája, ami egyebek között nem kívánt anyagtranszportot – például diffúziót – indukálhat. „Éppen ezért új utakat kell keresni – szögezte le az Óbudai Egyetem oktatója, hozzátéve: – a méretcsökkentéssel, a kvantum-behatárolás által a folytonos állapotok helyett megjelennek fel-

hasadt, diszkrét energiaállapotok, melyek új lehetőségeket kínálnak. A legújabb tudományos eredmények által megnyílt a lehetőség arra, hogy logikai kapuk megvalósíthatóak legyenek kvantumponokkal is. A csepp-epitaxia segítségével akár önszerveződő módon állíthatók elő ezek a struktúrák. Mint a fentiekből látszik: egyszerre két probléma jelentkezik, egyrészt a jelenlegi bitalapú gépek miniatürizálása, másrészt a qbitalapú gépek rentábilis megvalósítása. Mindkettőre megoldást jelenthet a kvantumponos struktúra.”

Nemcsics Ákos kitért arra is, hogy már Magyarország is komoly eredményeket tud felmutatni ezen a területen. **Bíró László Péter** és **Tapasztó Levente** csoportja az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetében grafénkutatással foglalkozik, mely lehetőséget teremt (a szilícium helyett) az úgynevezett szénalapú elektronikának (a méretcsökkentés alapját teremt meg). A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen **Imre Sándor** professzor és csapata a kvantum-informatika, a kvantumszámítás és a qbitese szoftverek területén végez kutatásokat, míg **Csurgay Árpád** egyetemi tanár és **Csaba György** docens a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Informatikai Karán a nanoáramkör modellezése, a mágneses logikai áramkörök és a mágneses sejtautomaták tárgykörében megjeleket. Az Óbudai Egyetem oktatója ugyanakkor megjegyezte, a folyamatos kutatások ellenére a szakemberek egyelőre nem túl optimisták a közeljövőben való megvalósítást illetően. A technológia első működő alkalmazásai olyan speciális funkciók segéd-elemeiként jelentek meg, mint a bonyolult matematikai problémák megoldása, a kvantumrendszerek modellezése vagy a strukturálatlan rendszerekben végzett keresés. ■