

Eljuthatunk-e nanolétrán a Holdra?

› Simon Ferenc

A NASA egy már 50 éves, de sokáig csak a sci-fi írók fejében létező gondolatot karolt fel, és úgy döntött, hogy egy lifttel juttat hasznos terhet Föld körüli pályára. Ezzel megteremtené az olcsó űrutazások lehetőségét, ami elérhető közelségbe hozná az emberiség számára, hogy más bolygókra, vagy akár más csillagokhoz is eljuthasson.

Mielőtt rátérnénk arra, hogy konkrétan mi is ez a nagy ötlet, nézzük meg, mitől olyan nehéz az űrutazás. Hasznos terhet alacsony Föld körüli pályára állító rakétáknál a teljes induló tömegnek csupán a 3 százaléka maga a hasznos teher. Amennyiben magasabb pályákra, a Holdhoz vagy más bolygókhoz akarunk hasznos terhet juttatni, még rosszabb ez az arány. Ha az űrbe jutva a Föld gravitációs terét úgy kell leküzdenünk, hogy minden hajtóanyagot magunkkal kell vinnünk, az nagyon nehézé teszi az űrhajót...

Erre a problémára két megoldás adódik. A csillagközi űrutazások technológiája lehetne például a nukleáris meghajtás – a NASA ezt szorgalmazó Orion projektje azonban egyelőre a tervezőasztalon maradt. Pedig a nukleáris hajtóanyag kisebb tömegben nagyobb energia tárolását teszi lehetővé, mint a mai kémiai meghajtás, amelynél a hidrogén és oxigén reakciójából felszabaduló energiát használjuk. A másik megoldás az lehetne, ha a hajtóanyagot nem kellene az űrhajónak magával vinnie – ahhoz kívülről jutna hozzá. (Ezzel a módszerrel rövid idő alatt nagy távolságokat lehet leküzdeni, amit a történelem számos példája, mint a tatárjárás is, igazol...) Még tovább gondolva – divatos szóhasználatlál élve – megújuló energiaforrásokat is fel lehetne használni, van rá példa már, s ez a napvitorlás. Itt a Napból kisugárzott gyors részecskék ütköznek egy nagy ernyőbe – vitorlába –, s ez gyorsítja az űrhajót. Tavaly történt rá az első, magánfinanszírozású kísérlet, a Cosmos-1 napvitorlás azonban a fellelés után visszazuhant a Barents-tengerbe.

1. Az űrlift 50 évvel azután épülhet meg, hogy mindenki abbahagyta a nevetést.

Sir Arthur C. Clark, 1990

2. Körülbelül 10 évvel azután épülhet meg, hogy abbahagyták a röhögést, és úgy tűnik, azok a fiúk a NASA-nál már nem röhögnek...

Sir Arthur C. Clark, 2005

Égi mászóka...

Látható, hogy már léteznek elképzelések arra, hogyan lehet vagy hatékony, vagy megújuló energiaforrást felhasználó hajtóműveket építeni az űrbéli utazásra, azonban továbbra is megoldandó a Földtől való kellő erejű elrugaszkodás problémája. Pontosán erre gondolták ki megoldásul az űrliftet. Az űrlift koncepciója nagyon egyszerűen hangzik: egy magasan a Föld körüli pályán keringő műholdat és az Egyenlítőn lévő földi állomást összekötjük egy erős és hosszú kábellel, amelyen egy speciális gépezet, a mászó (climber) juttatja fel a hasznos terhet. A mászó mozgásához szükséges energiát a Földről ráfókuszált lézernyalábokkal juttatják el, ezt a mászó fotoelektromos úton árammá alakítja át. Látható, hogy ebben az elgondolásban az a nagyszerű, hogy a mászó kábelen való tartásához nincs szükség energiára, a továbbjutásához pedig minden energiát kívülről kap. Az űrlift koncepciója futurisztikus, így nem véletlen az sem, hogy tudományos-fantasztikus írók, mint Sir Arthur C. Clark agyából pattant ki még az ötvenes években.

Clark koncepciója ma már korántsem tűnik távolba mutató ötletnek... Mi történt 1990 és 2005 között, ami ennyire közel hozhatta ezt a koncepciót a megvalósíthatósághoz? Nos, a továbbiakban a konkrét megvalósítás technikai részleteivel és a fennálló nehézségekkel foglalkozunk majd, azonban már itt elmondható, hogy az űrlift útjában álló legnagyobb akadály magának az űrlift kötelének az elkészítése...

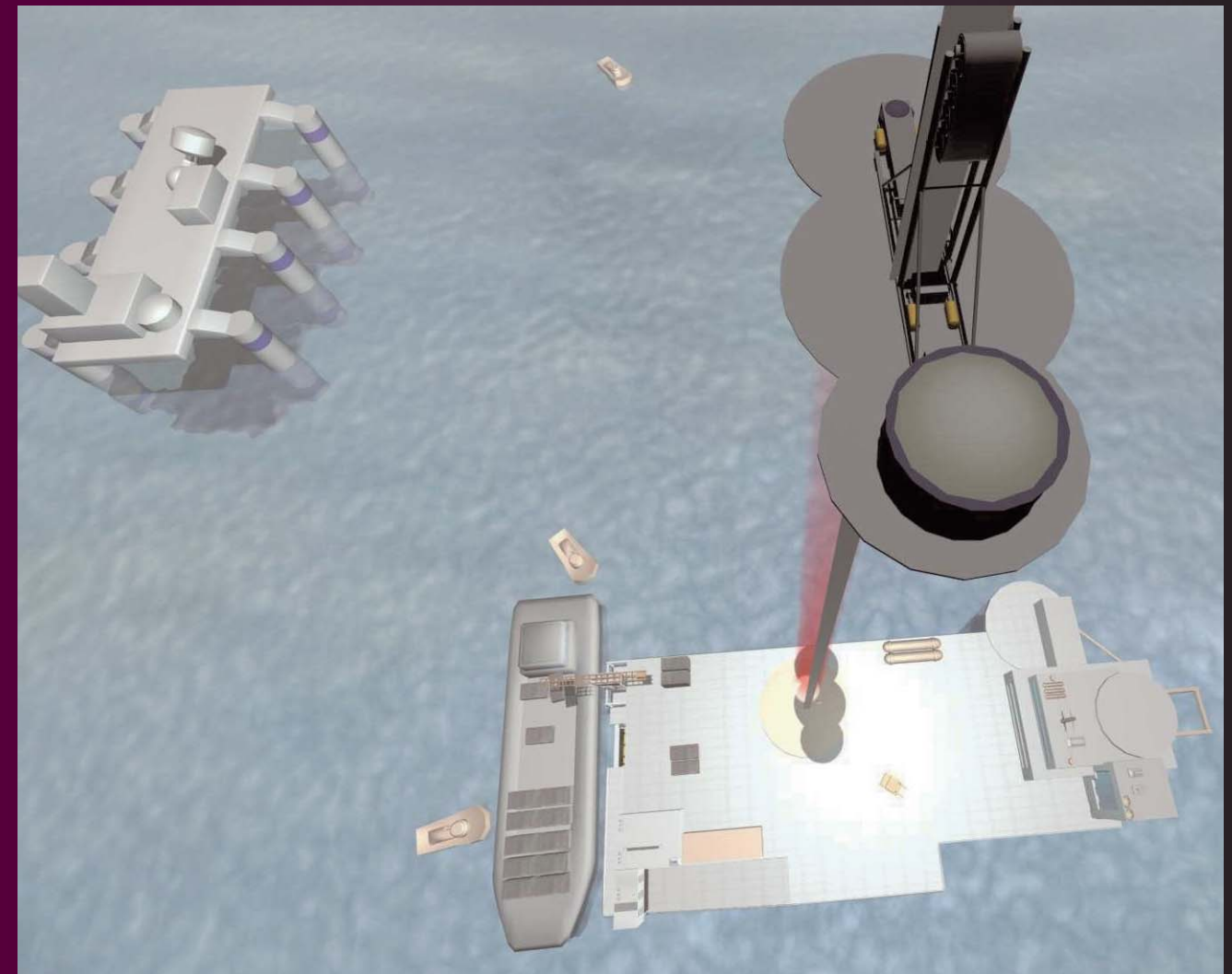
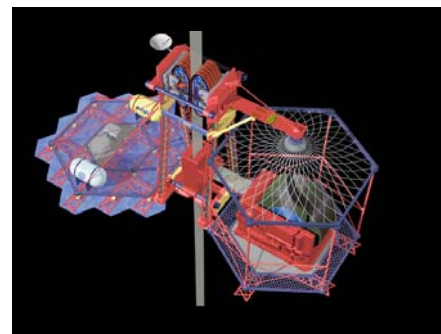
Hajszal hóján

1991 előtt nem ismertek olyan anyagot, amely a szükséges méretben akár csak a saját súlyát is képes lett

volna elbírní – a 100 000 kilométer hosszú kötelnek pedig még terhet is hordoznia kellene. A legjobb minőségű acélkábelek sem felelnek meg ennek a célnak. 1991-ben fedezte fel Sumio Iijima japán fizikus a szén nanocsöveket. A szén nanocsövek nem összetévesztendőek a közismertebb szénszálakkal. A szénszálak az 1960-as évek óta ismertek, és széleskörűen használják őket adalékként különböző anyagok megerősítésére a sílécektől kezdve a repülőgépszárnyakig. A fő különbség a kétfajta anyag között a mikroszkopikus szerkezetükben rejlik. A szénszálak körülbelül 100-1000 nanométer átmérőjű (egy nanométer a méter milliárdod része, egy emberi hajszálnak körülbelül a század része), műanyagpolimer huzalok elszenesítéséből keletkező, grafithez hasonló, tömör, mikroszkopikus szerkezetű anyagok. A nanocsövek ezzel szemben olyan szénatomokból állnak, melyek összekapcsolódva egy 1-10 nanométer átmérőjű csövet alkotnak. A szén nanocsövek egyedülálló tulajdonságait éppen az adja, hogy a szénatomok szorosan és hibamentesen kapcsolódnak egymáshoz.

E szerkezetben minden szénatom 3 másik szomszédjához kapcsolódik, szemben például a gyémánttal, ahol minden szénatom 4 szomszédjához kapcsolódik. Mégis, a szén nanocsövekből sokkal erősebb kötelet lehet létrehozni. A szénszálakkal összehasonlítva, a nanocsövekből font kötélet azért lehet sokkal erősebb, mert a kötélet alkotóelemei – a ruhaiparból kölcsönzött kifejezéssel élve, elemi szálai – sokkal vékonyabbak, ezért egy azonos átmérőjű kötelet sokkal több (akár egymilliószor több) kis elemi szál alkot, melyek mind egyen-

ként is erősebbek bármilyen ismert anyagnál. A nanocsövekből létrehozott szálak szakítószilárdsága 30-szorosra az acélénak, miközben a sűrűsége az acélénak mindössze egyhatalda. Pontosán ezek a tulajdonságai teszik lehetővé, hogy nanocsövekből egy olyan hosszúságú kábelt hozzunk létre, amilyen az űrlift megépítéséhez szükséges.



Minidrótok csúcshatása A nanocsövek egy reményteli alkalmazási területe az elektronikai miniaturizálás. Nap mint nap hallani, a processzorgyártók áttértek a 130 nanométeres technológiáról a 90 nanométeresre, majd jön a 65 nanométeres... Óriási technológiai versenyfutás zajlik azzal a céllal, hogy egyre kisebb méretben tudjanak drótokat gyártani a processzorok felépítéséhez. Látható, hogy a nanocsövek ezt a munkát automatikusan elvégzik: ők már születésüktől fogva 1 nanométer átmérőjű kis drótokat alkotnak.

A nanoelektronikához tehát adottak az igen kicsi drótok, ezeket már csak úgy kell összehálózni, hogy a kívánt kapcsolókat hozzák köztük létre. Azonban még a legoptimistább becslések szerint is éveket vehet igénybe, amíg működő, nanocsőelektronikán alapuló számítógépek épülhetnek. Előrejelzések szerint az 1 nanométeres átmérőjű drótokra már két évtizeden belül égető szükség lesz, mert 2020 tájékán a processzorokhoz ily vékonyság kell – s ez a hagyományos szilícium alapú technológiával már megvalósíthatatlan.

A nanocsövek fontos tulajdonsága, hogy a kis átmérőjükből adódóan a végük (csúcuk) nagyon hegyes. Ez azt eredményezi, hogy a csúcuknál igen nagy elektromos terek alakulnak ki, ez az úgynevezett csúcshatás. Ugyanez a jelenség magyarázza azt a mindennapos tapasztalatunkat, hogy műszálas ingben mozgás után az ujjunk vagy orrunk hegye szikrákat vet, vagy megráz más embereket. Azonban ennek az „emberi

csúcshatásnak” a mérete tízmilliószor kisebb, hiszen orrunk görbületi sugara körülbelül 5 milliméter, míg egy nanocsőé annak csak tízmilliomod része, vagyis 0,5 nanométer. A nanocsövekben ez az óriási csúcshatás azt eredményezi, hogy belőlük nagyon könnyen lépnek ki elektronok, amit kijelzők készítéséhez lehet felhasználni. A hagyományos katódsugaras televízió is ezen az elven működik, csak éppen a működtetéséhez néhány ezer voltos feszültséget igényel, míg egy nanocsővön alapuló képernyő már ceruzaelemnyi feszültséggel is működik. A Samsungnál jelenleg a nanocsöveken alapuló kijelzők intenzív fejlesztése folyik, amely reményeik szerint versenyképes termék lehet a modern LCD vagy plazmaképernyők mellett, elsősorban az elérhető nagyon nagy világosság miatt. A csúcshatást használja ki az a miniaturizált röntgenberendezés is, amelyet O. Zhou csoportja fejlesztett ki az USA North Carolina egyetemén. A nanocsöveken alapuló röntgenszó a hagyományosnál sokkal kisebb méretű, ami a besugárzó nyaláb sokkal jobb fókuszálását eredményezi. Ez lehetővé teszi, hogy az orvosi röntgendiagnosztikát a mainál jelentősen jobb felbontással és sokkal kisebb dózisos alkalmazásával lehessen elvégezni. E néhány példa érzékelteti, hogy a nanocsövek alkalmazási területe rendkívül széles: az űrkutatástól a számítástechnikán keresztül egészen az orvosi alkalmazásokig terjed. Ezekben a területeken továbbra is intenzív a kutatás, és szinte havonta érnek el a kutatók újabb és újabb áttöréseket.



Mielőtt rátérnénk az űrlift gyakorlati megvalósításának további ismeretetésére, nézzük meg a nanocsövek, és általában a nanoszerkezetű anyagok tulajdonságait és alkalmazási lehetőségeit. A nano szócskát hallva legtöbbszörnek egy újfajta technológiájú mosószer jut eszünkbe... De mi is rejlik ezen kis szócska mögött, amely láthatóan felkeltette a marketinges szakemberek figyelmét, azt remélve, hogy a fogyasztók is felkapják a fejüket e szót hallván. A nano görög eredetű szó, eredeti helyesírásban νανοσ (ejtsd nánosz), jelentése törpe. Mint SI előtag, a fizikai mennyiségek egymilliárdod részét jelöli.

A legtömörebb megfogalmazásban a területen kutatók – mint e cikk szerzője is – olyan anyagokat értenek nanoszerkezetek alatt, melyek nem egyszerűen csak a nanométeres skálatartományba esnek, hanem a kicsinységükből adódóan új funkcionalitással is rendelkeznek. A nanoszerkezetű anyagok másik jellemzője, hogy leggyakrabban úgynevezett önszerveződő módon épülnek fel.

Természetesen a közönséges konyhasó kristálya (ami a természettudományi múzeumok kedvelt kiállítási darabja) is a klorid- és nátrium ionok önszerveződése révén alakul ki, azonban a nanoszerkezetű anyagokban éppen az a nagyszerű, hogy a növekedésük nanoskálán mérhető méretekben hoz létre valamilyen struktúrát. A nanocsövek esetében ez az önszerveződés jól nyomon követhető: ha megfelelő körülményeket

Sir Clark fantáziája Az író egyébként számos regényében, mint *A paradicsom szökőkútjaiban* és a *Távolí Föld dalaiban* is feldolgozza az űrlift ötletét. Mielőtt legyintenénk, elfogadva, hogy csak a sci-fi írók fantáziája túl nagy, emlékeztetnünk kell magunkat Jules Verne jóslatainak beigazolódására: a tengeralattjáróra, a helikopterre, a holdutazásra. Maga Sir Clark, aki eredeti foglalkozására nézve csillagász, sőt a brit Királyi Csillagászati Társaság tagja is, igen sikeres volt a jóslatokban. A legfontosabb javaslata például az volt, hogy geostacionárius (mindig a Föld egy adott pontja fölött 30 000 kilométer magasan található) műholdakat használjanak a kommunikációra. Köztudott, hogy ilyen műholdakból több száz kering a Föld körül, és a modern kommunikáció elképzelhetetlen lenne ezek nélkül. Sir Clark ezt az elgondolását, a korát évtizedekkel megelőzve 1945-ben publikálta, érdemes tehát egy ilyen kvalitású ember jóslatára odafigyelni.

biztosítunk egy kémiai növesztő reaktorban – ami a megfelelő nyomás, hőmérséklet és katalizátor jelenlétét jelenti – akkor olyan nanocsövek nőnek, amilyenek egy elektronmikroszkóppal készült fotón is csak tízmilliószoros nagyításban mutatnak be. Az így kapott nanocsövekkel természetesen még sok munka van, meg kell tisztítani őket az esetleges melléktermékektől, a katalizátortól. A lényeges azonban az, hogy manapság ipari méretekben, akár több tonnás mennyiségben, olyan nanocsőmintát gyártható, amely kizárólag 1 nanométer átmérőjű kicsinyke nanocsöveket tartalmaz. Ez a lehetőség alulról felfelé építkezést tesz lehetővé (az angol terminust hallhatjuk gyakran: bottom-up approach).

Az űrlift koncepciójára visszatérve, azt láthatjuk, hogy bizony „a NASA-s fiúk abbahagyták a röhögést” amit két finanszírozott projektjük, illetve versenykiírásuk bizonyít. Tavaly tizenegymillió dollárral támogatta

a NASA a houstoni Rice Egyetemen folyó kutatásokat, a későbbiekben felhasználható űrlift kábelének kifejlesztésére. A másik NASA által finanszírozott program, az Elevator 2010 verseny keretében olyan csapatokat keresnek, melyek bizonyos magasságig feljutó, csak kívülről felsugárzott energiával működő mászót, illetve egyre erősebb űrlift kábeleket mutatnak be működés közben. E verseny díja jelenleg félmillió dollár, amit az idő előrehaladtával folyamatosan növelnek. Látható, hogy az USA lépéselőnyre tesz szert más államok, illetve államközösségek előtt pusztán azzal, hogy kreatív ötleteket hajlandó finanszírozni – a NASA költségvetéséhez képest egyelőre jelentéktelen összegekkel ugyan, de a szemét állandóan rajta tartva a technológiai újdonságokon.

Köteles kérdések

Az űrlift kiépítéséhez azonban még hosszadalmas kutatás szükséges.

A jelenleg laboratóriumi körülmények között előállított leghosszabb nanocsövek is mindössze néhány centiméteresek. Ettől még nagyon hosszú az út a Holdig...

Az űrlift megvalósításához számos más akadályt is le kell győzni, melyeket szintén a NASA által finanszírozott előtanulmányokban vizsgáltak meg, a felmerült kérdésekből itt csak néhányat említek.

Mennyibe fog kerülni? Sokkal kevesebbe, mint az űrrepülőgép-program vagy a Nemzetközi űrállomás. A becsült költségek tízmilliárd dollárra rúgnak, de az űrlift a hasznos terhek olcsóbb űrbe juttatását teszi lehetővé, körülbelül tizedannyi áron mint a hagyományos módszerrel, így a költségek igen hamar megtérülnek.

Mi tartja a kötelet feszesen? Egy ellensúly, ami a Föld felett nagyjából százezer kilométer magasan helyezkedik el, és együtt forog a Földdel, akárcsak egy óriási ringlispil széke.

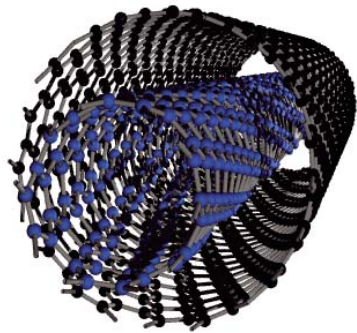
Hogyan lehet felépíteni? Indulásnak egy rövidebb, 100 kilométeres kábelszakaszt rakétákkal juttatnak fel alacsony Föld körüli pályára. Ezt lebocsátják, majd lentől újabb darabokkal hosszabbítják meg, miközben a fenti darabot rakétákkal magasabb pályára juttatják fel. A kezdeti gyengébb, de már teljes hosszúságú kábel jutnak fel az első rakományok, melyek először a kábel teljes erősségű kiépítéséhez szükségesek. A feljutó mászók pedig az ellensúlyt gyarapítják.

Mi történik, ha a kötél elszakad? Az ellensúly magasabb Föld körüli pályára kerül, a kötél pedig lezuhan a Földre, de nagy része a légkörbe jutáskor elég. Azonban tudnunk kell, hogy az egész kötél súlya mindössze 1000 tonna, állaga és sűrűsége leginkább a papíréra emlékeztet, így semmiféle kárt nem okozhat.

Mi a helyzet az űrszeméttel, hurrikánokkal, villámlással, esetleg terrorista fenyegetéssel? Az űrlift alsó állomása egy hajón vagy úszó platformon fog elhelyezkedni az Egyenlítő közelében, ami hurrikánmentes övezet. A hajó mozgásával az űrszemét darabjaival való ütközést időben ki lehet kerülni (az űrszemét mozgását a NASA folyamatosan figyelemmel kíséri). A Nemzetközi Űrállomást is folyamatosan mozgatják az ütközéseket kikerülendő. Hasonlóan el lehet mozdítani a földi állomást a helyi viharok és így a villámlások kikerülésére. A terrorizmus fenyegetése kivédhető azáltal, hogy távoli helyen található a földi állomás és így annak környezete nagy sugarú körben megfigyelhető és védhető.

Miért nem építünk már most egy űrliftet? Ennek van egy gondolkodásbeli, nem csak technológiai oka. Ma széleskörűen elterjedt a nézet, hogy az űrkutatás megfelelő eszközei a rakéták. Egy sok milliárd dolláros iparág épült e koncepció köré. Nyilvánvalóan nehezebb ebben a környezetben támogatást szerezni az űrlift kutatására és kifejlesztésére.

Mikorra épülhet meg az első űrlift? A várakozások szerint 2010-re megol-



dódik a technikai problémák nagy része. Ekkor az USA nemzeti prioritásává válik a program (akárcsak az 1960-as években a holdutazás), és az első űrlift 2020-ra készülhet el.

Az üreg előnye...

Végezetül néhány szó a cikk szerzőjének kutatásáról, amely távolról ugyan, de kapcsolódik az űrlift kutatásához. A nanocsövek szerkezetéből látható, hogy bennük van egy üreges hely. Felmerült, hogy esetleg itt lehetne növeszteni egy kisebb, belső nanocsövet. Az ábrán egy ilyen kétfalú nanocsövet láthatunk amelynek vizsgálatával és szintézisével a szerző is foglalkozik. Kutatásaiból kiderült, hogy a kis belső nanocső igen tiszta és még inkább hibamentes mint a külső nanocső. A kétfalú rendszer pedig érthető módon még erősebb mint ha csak egy fala lenne. Talán ez a kétfalú nanocső lesz az űrlift kötele...

Az előttünk tornyosuló nehézségek ellenére azonban – mint a terület aktív kutatója – csak optimistán tudom az űrlift jövőjét elképzelni. A mai helyzet hasonló, mint ami

a XIX. század végén a levegőnél nehezebb repülést, vagy a múlt század első felében az űrhajózást illetve. Néhány fanatikus álmodozón kívül a nagy többség csak az álmok világába tette ezeket a dolgokat, és legtöbbjüket csak az győzte meg (vagy még az sem), amikor az első Szputnyik gyenge rádiójeleket kezdett a Föld körüli pályájáról sugározni, vagy amikor a mozifilmeken láthatta a Wright fivérek levegőbe emelkedését. Csak azt mondhatjuk, hogy az emberiség eddig még a legtöbb megoldhatatlannak tűnő technikai problémát leküzdötte, és úgy tűnik, hogy a tudomány nem ismer lehetetlent. Láthatjuk, hogy a XX. századot milyen nagymértékben forradalmasította ez a két felfedezés, hiszen életünk elképzelhetetlen a repülés és a műholdak nélkül. Borzongtató arra gondolni, hogy akár a közeli jövőben egy olyan szintű űrkutatási forradalomnak lehetünk az űrlift révén szemtanúi, mint az 1950-es években, ami végül egyelőre beláthatatlan gazdasági és társadalmi változásokhoz is elvezethet. ☉



Dr. Simon Ferenc (31). Egyetemi adjunktus a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kísérleti fizika tanszékén. Tudományos területe: a nanoszerkezetű anyagok kutatása. Elismerések, díjak: Akadémiai Ifjúsági Díj, Bolyai Ösztöndíj, Talentum Akadémiai Díj.