

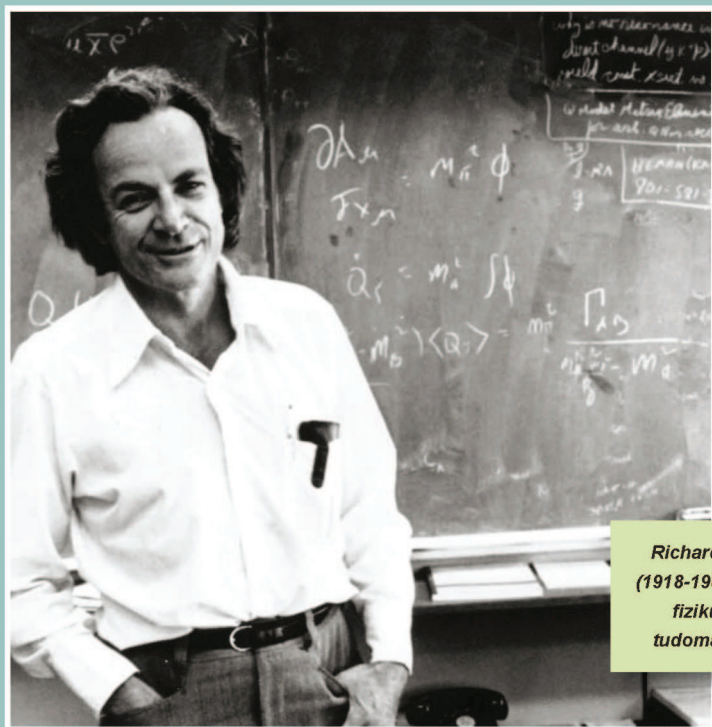
NANOROBOTIKA

**A hétköznapi ember számára olykor a nano-előtaggal rendelkező fogalmak rejtélyes, érthetetlen töl-
tettel bírnak, és a leggyakrabban azt a gondolatot társítják hozzá, hogy a nano valami olyasmi, amit
a tudósok fabrikálnak a laborjainkban. A nano-előtagban azonban nincs semmiféle misztikum vagy
rejtély, a Mértékegységek Nemzetközi Rendszerében (SI) használt előtét szó, úgynevezett prefixum.
Egy nanométer (nm) a méter egymilliárdod részét jelenti. A nanoméretű objektumok pedig tipikusan
az 1-100 nm skálán helyezkednek el. A nanotudományok feladata ezen struktúrák tervezése, elméleti
és kísérleti vizsgálata, kontrollálása, egyszerűen a manipulációs lehetőségek vizsgálata.**

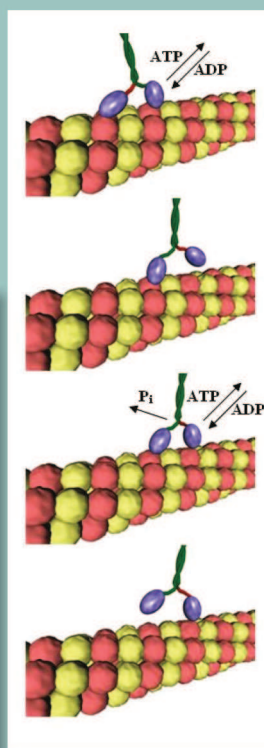
A nanotudomány első gondolata Richard P. Feynman (1918-1988) Nobel-díjas fizikushoz köthető. Feynman nemcsak kiváló elméleti fizikus, hanem kitűnő előadó, oktató is volt. Érdeklődése nem korlátozódott a fizika egyes szegmenseire, átfogó és mély képpel rendelkezett a természettudományokról. 1959. december 29-én előadást tartott az Amerikai Fizikai Társaság ülésén *There's Plenty of Room at the Bottom* címmel. A cím magyarul

valami olyasmit jelent, hogy „rengeteg hely van még odalent”. Olyan gondolatokat fogalmazott meg ebben az előadásában, amelyekkel kétségkívül megelőzte korát. Többek között beszélt miniaturizált számítógépről, atomok átrendezhetőségéről és információtárolásról az atomi méretek skáláján. Olyan lehetőségeket, gondolatokat mondott el, me-

lyek ma is tartó kutatásokat generáltak és életnek. Meg kell említeni Albert R. Hibbs nevét is, aki a doktori tanulmányait Feynman témavezetése alatt folytatta az



Richard P. Feynman
(1918-1988) Nobel-díjas
fizikus, a nano-
tudományok atyja



**Az ábrán a kinezin-„séta”
látható. A kinezinfejek szoros
kapcsolatban működnek.
Mindkét ADP-t hordozó fej
közel kerül a mikrotubulushoz,
és az egyik (zöld nyakú)
hozzákötődik. Leadja az ADP
molekuláját és ATP-t vesz fel.
Ezzel a transzferrel mozgatja
a másik fejet (vörös nyakú)
jobb oldali irányba, majd
hasonló folyamat játszódik
le: a mozgatott nyak kötődik
a mikrotubulushoz, miközben
elveszti az ADP-molekuláját
és ezt egy új ATP-re cseréli.
Eközben az első fej hidrolizálja
az ATP-molekuláját, lead egy
inorganikus foszfátiont. Az
ADP-hordozó fej (zöld nyakú)
ezzel a hidrolizációval kiszaba-
dul a kötéstől és újraindul az
egész folyamat.**

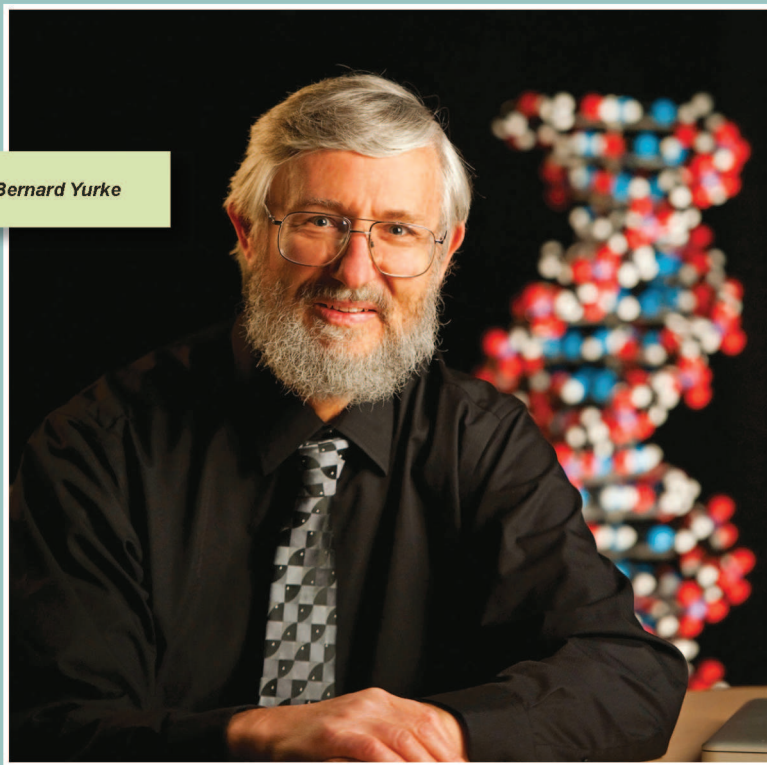
1950-es évek elején. Tőle ered a nanorobotika alapötlete, amely szerint a jövőben építhetőek lesznek olyan kicsiny gépek, amelyeknek – hasonlóan a napjainkban alkalmazott gyógyszerkekhez – akár terápiás jelentőségük is lehet.

A nanorobotika (molekuláris robotika) fő feladata olyan programozható, intelligens, nanoméretű gépek tervezése és építése, melyek képesek speciális feladatokat elvégezni. A nanorobotokat több szempont szerint csoportosíthatjuk, például, hogy milyen anyagból építjük fel, milyen feladat elvégzésére szánjuk őket.

Ejtsünk szót először a nanomedicina területén felmerülő problémák megoldására fejlesztett nanorobotokról! Ezek olyan nanogépek, melyek építőkövei organikusak, például fehérjék vagy a jól ismert DNS-molekula.

Bernard Yurke és kutatócsoportja olyan nanoeszközt fejlesztett ki, melynek segítségével sikerülhet nanoméretű objektumokat megfogni és mozgatni is. Apró csipeszeket készítettek és szokatlan építőelemet használtak fel: a genetikai kódunkat hordozó DNS-molekulát. A szerszám karakterisztikus mérete nem több mint 70 nm. A csipeszek működését a DNS kettős spirál komplementer tulajdonságának segítségével érthetjük meg. Minden fok a csavart létrán egy-egy kapcsolatot jelent két kémiai bázis között, az adenin (A) a timinnel (T), a citozin (C) a guaninnal (G) kapcsolódik. Az embert felépítő genetikai kód az egymást követő A, T, C és G betűkből áll össze, amelyek a bázisok jól meghatározott sorát jelölik. A DNS egy fonala csak akkor kapcsolódik egy másik fonalhoz, ha a bázisok sorrendje pontosan megfelelő. Yurke kutatócsoportja ezt a tulajdonságot használta ki a kis eszköz elkészítéséhez és programozásához. A csipeszek három szintetikus DNS-fonalból állnak. Két fonal a kar, a harmadik pedig átfogja ezt a másik kettőt, és úgy viselkedik, mint valamiféle gerinc: csuklópántként összetartja az egész V alakú struktúrát. A karok annyira kinyúlnak, hogy néhány páratlan bázis szabadon túllóghat a gerincen. Ha egy negyedik DNS-t raknak a kémcsőbe, az rátapad a páratlan bázisokra és összezárja a csipeszt.

Bernard Yurke



Ezzel újrakeletkezik néhány páratlan bázis, amelyhez egy ötödik DNS kapcsolódhat, amely kiszakítja az első „üzemanyag”-egységet, és kinyitja a csipeszt. A két összekapcsolódott üzemanyag-egység elúszik ettől a molekuláris motortól, mintha kipufogóüst lenne.

Bionanomotorokat úgynevezett motorfehérjékből is tudtak már készíteni. Ilyen például a kinezin lineáris motor. A kinezin-családba tartozó fehérjék számos sejtfolyamatban játszanak fontos vagy akár létfontosságú szerepet. A kinezin azon fehérjecsaládhoz tartozik, melyek transzportot tudnak végezni a mikrotubulusok mentén. A mikrotubulusok 25 nm átmérőjű tubulincsovekből épülnek fel. Ezek a fehérjeszerkezetek a sejtváz egyik alkotói, a leggyakoribb. A kinezin az ATP- (adenozin-trifoszfát) és ADP- (adenozin-difoszfát) molekulák között lejátszódnak reakciók által hajtott motorfehérje. A kinezin molekuláris motorstruktúra egyik fő alkotórészét jelentik a motor-domének, amiket a szakirodalom „fejek-

nek” is szokott nevezni. Ezek a fejek egy úgynevezett „nyakon” keresztül kapcsolódnak a hosszú coiled coil-szárhoz. Ennek a szárnak a vége alkalmas egy olyan teher megkötésére, melyet a kinezinmotor szállítani képes. Itt látszik a hatalmas szerepe ennek a konstrukciónak, hiszen a teher egy olyan gyógyszeradag is lehet, melyet ez a rendszer el tud szállítani egy adott beteg sejthez. Még egyszer kihangsúlyozva: lehetővé válik egyetlen egy sejtnek a terápiája!

Már azt is komoly tudományos eredménynek tekinthetjük, hogy az atomok, molekulák méretskáláján képesek vagyunk nanomanipulációt végezni. A nanogépek és -robotok nagyon sokféle lehetnek, ebből adódóan többféle működési mechanizmussal találkozhatunk, amelyek megértése még a jövő feladata. A következő kutatógenerációk számára rendkívül fontos célkitűzés, hogy ezek az eszközök a mindennapok terápiás kezeléseiben, a klinikumban is elérhetőek, használhatóak legyenek.

SZASZKÓ-BOGÁR VIKTOR