

törzs (core) és egy ezt körülvevő mezonfelbőltéssel-
oszlásával számolni [22]. Jelen cikk írásának idején
(2011. január) a kérdés teljesen nyitott, érdemes figye-
lemmel kísérni a további fejleményeket. A téma iránt
érelklődő olvasó figyelmébe ajánlhatjuk a legutóbbi
időben megjelent [23–26] közleményeket.

Irodalom

1. Pasternack, S., *Phys. Rev.* 54 (1938) 1113.
2. Lamb, W. E., Jr., Schiff, L. I., *Phys. Rev.* 53 (1938) 651.
3. Lamb, W. E., Jr., *Rep. Prog. Phys.* 14 (1951) 19.
4. Lamb, W. E., Jr., Retherford, R. C., *Phys. Rev.* 72 (1947) 241.
5. Brentano von, P., et al., *Physica Scripta T46* (1993) 162.
6. Lamb, W. E., Jr., *Phys. Rev.* 85 (1952) 259.
7. Bethe, H. A., *Phys. Rev.* 72 (1947) 339.
8. Nafe, J. E., Nelson, E. B., Rabi, I. I., *Phys. Rev.* 71 (1947) 914.
9. Breit, G., *Phys. Rev.* 72 (1947) 984.

10. Kusch, P., Foley, H. M., *Phys. Rev.* 74 (1948) 250.
11. Schwinger, J., *Phys. Rev.* 73 (1948) 416.
12. Hofstadter, R. et al., *Phys. Rev.* 91 (1953) 422.
13. Hand, L. N., et al., *Rev. Mod. Phys.* 35 (1963) 335.
14. Simon, G. G., et al., *Nucl. Phys.* A333 (1980) 381.
15. Sick, I., *Physics Letters B576* (2003) 62.
16. Weitz, M., et al., *Phys. Rev.* A52 (1995) 2664.
17. Melnikov, K., Ritbergen, T. van, *Phys. Rev. Letters* 84 (2000) 1673.
18. Borisyuk, D., *Nucl. Phys.* A843 (2010) 59.
19. Pohl, R., et al., *Nature* 466/7303 (2010) 213.
20. Flowers, J., *Nature* 466 (2010) 195.
21. De Rújula, *Physics Letters B693* (2010) 555.
22. Islam, M., Luddy, R., *Cern Courier* 49/10 (2009) 35.
23. Distler, M. O. et al., *Physics Letters B696* (2011) 343.
24. Jentschura, U. D., *Annals of Physics* 326 (2011) 500.
25. Jentschura, U. D., *Annals of Physics* 326 (2011) 516.
26. Miller, G. A. et al., arXiv:1101.4073v1 [physics.atom-ph] 21 Jan 2011.

A MIKROVILÁG ELSŐ FELFEDEZŐI – I.

Radnai Gyula
ELTE Anyagfizikai Tanszék

A történeti kutatás előnye, hogy folyamatában, fejlődésében vizsgálhatjuk meg a kiválasztott témát. Hátránya, hogy gyakran elveszünk a részletekben, nem látjuk a fától az erdőt. Akadálya pedig – és erről talán kevesebb szó esik – a tisztánlátáshoz szükséges dokumentumok hiánya. Ennek két leggyakoribb oka a dokumentumok titkosítása, illetve megsemmisülése. Az alábbiakban mindegyikre találunk példát.

A fénymikroszkóp első feltalálói

Üveglencsét egyszerű nagyításra már régóta használtak, de csak a 16. században jelent meg kétagú lencserendszer erre a célra, mégpedig Németalföldön. Ugyanakkor, amikor a távolbalátás elősegítésére is megjelentek az első távcsövek. A világot körülhajózó hollandusok számára a távcső, a sextáns és a kronométer a nyílt óceánon való tájékozódáshoz nélkülözhetetlenné vált. Kézenfekvő volt, hogy az apró tárgyak, részletek felnagyítására is kipróbáljanak ilyen szerkezeteket.

A mikroszkóp első feltalálói között találjuk a két szemüvegkészítő Jansent, apát és fiát, akik 1595-ben készítették el az első ilyen nagyító csövet. Maga a mikroszkóp elnevezés Johann Fabertől, VIII. Orbán pápa orvosától származik, legalábbis az ő egyik levele a legelső írásos dokumentum, amelyben ez a szó megjelenik, mégpedig 1625-ben. A fiú, Zacharias Jansen (1580–1638) fokozatosan javította a nagyító csövet: mindkét lencsét külön cső végébe illesztette, és ezek a csövek egy harmadik, a kísérletező kezében tartott csőben voltak tologathatók (1. ábra). Még dia-

fragmákat is alkalmazott, hogy csökkentse a lencsék szférikus aberrációja és színi hibája miatt fellépő leképezési hibákat.

Ugyanilyen módon készített távcsöveket is, amelyekben szemlencseként szórólencsét alkalmazott, hogy egyenes állású kép keletkezzék. Ez a „hollandi” távcső jutott el Galileihez, aki – mint tudjuk – az ég felé fordította és felfedezte vele a Hold hegyeit és a Jupiter holdjait. Newton viszont az objektív színi hibájának kiküszöbölésére a tárgylencse helyett tükröt alkalmazott – nem véletlen, hogy róla nevezték el a tükrös távcsövet.

Zacharias Jansen nem mindennapi ember lehetett. Életéről sok dokumentum maradt fenn, egészen a második világháborúig. Szülővárosa, Middelburg már a 16–17. században is fontos kereskedelmi központ volt Zeeland tartományban (Új Zeeland innen kapta nevét), Hollandia délnyugati részén. Itt volt a Holland

1. ábra. Zacharias Jansen (1580–1638) lovas és feltaláló, mellette 3 tubusból álló mikroszkópja.



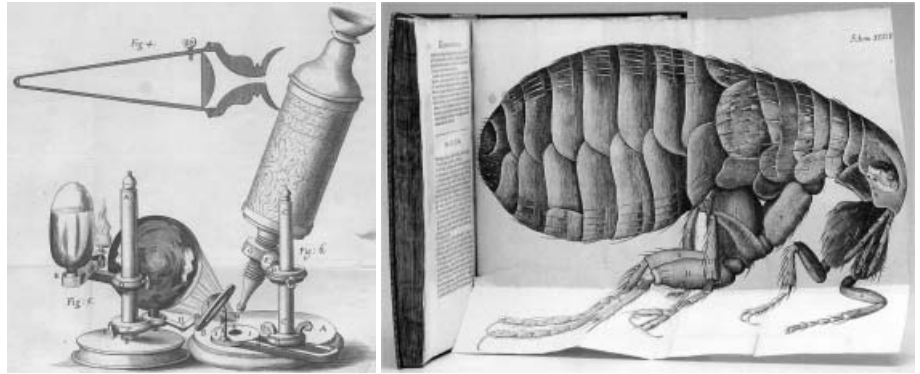
A tanulmány az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003.

Kelet-Indiai Társaság központja. 1940-ben Middelburgban holland csapatösszevonást tartottak, amit azután a Luftwaffe 1940. május 17-én szétbombázott. A háború után a városközpontot újjáépítették, de a megsemmisült múzeumi tárgyakat, dokumentumokat nem lehetett pótolni. Szerencsére már addig is megjelent Jansenről néhány írásmű, ami túlélte a bombázást. Mai tudásunk ezekből az írásokból ered.

Tudjuk, hogy Middelburgban pénzverde is működött, itt dolgozott Zacharias Jansen sógora. A harmincas éveiben járó ügyes optikus – Johannita lovag és feltaláló – ekkor saját, illegális pénzverdét létesített. Amikor felfedezték, gyorsan egy másik városba költözött át. Azonban ott se hagyta nyugodni a könnyű pénzkeresés lehetősége, újra beindította a titkos műhelyt. Újra felfedezték, bíróság elé állították, és csak azért menekült meg a halálos ítélettől, mert egy bírósági tisztviselő is érintett volt a csalásban, s ezért elfektették az ügyet. Sikerült újra megszöknie, visszament Middelburgba, s még vagy húsz éven keresztül gyártotta a távcsöveket és a mikroszkópokat.

E kezdetleges készülékek nagyítását állítólag 3-szostól 9-szeresig lehetett változtatni. Nem is lett volna érdemes erősebb nagyításra törekedni, amíg ki nem találta valaki, hogy az eszközt nem kézben kell tartani, hanem állványra kell erősíteni. Az egyik ilyen valaki *Robert Hooke* (1635–1703) volt Angliában. Az általa használt mintegy fél méter magas mikroszkópot ma Washingtonban az ottani Orvostörténeti Múzeumban őrzik, rajza Hooke 1665-ben kiadott *Micrographia* című könyvében látható (2. ábra). Nemcsak állványa és tárgyasztala volt már mikroszkópjának, de megvilágító fényforrása is: egy olajlámpa lángját hatalmas gömbkondenzor fókuszálta a tárgyra. Hooke fedezte fel a parafa üreges, sejtes szerkezetét, még az elnevezés (a sejt latinul cellula) is tőle származik. A sejtes szerkezetet megállapította más növényi metszetek esetén is, és még azt is megfigyelte, hogy a fiatal növényrészek sejtjeit folyadék tölti ki. (Ezt nevezték el sokkal később protoplazmának.)

Hooke két kortársáról érdemes még említést tenni, akik értékes felismerésekkel járultak hozzá a mikrovilág felfedezéséhez. Mindketten a londoni Royal Society hivatalos folyóiratában publikáltak, így vált nevük és munkásságuk ismertté a tudományos világban. *Marcello Malpighi* (1628–1694) itáliai orvosprofesszor fedezte fel az emberi artériákat és vénákat összekötő hajszálereket, kapillárisokat, megalapozta az emberi sejtek és szövetek vizsgálatára kialakult histológia tudományát. *Anton(i) van Leeuwenhoek* (1632–1723) holland amatőr zoológus valószínűleg Hooke *Micrographia* könyvének hatására kezdett tudományos megfigyelésekbe negyven éves korában, s folytatta ezt hosszú élete végéig. Az igazság kedvéért el kell árulni, hogy ő nem



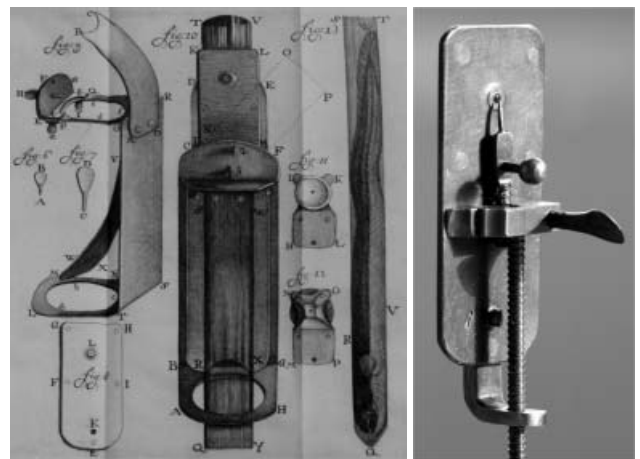
2. ábra. Robert Hooke (1635–1703) mikroszkópjának magyarázó ábrája *Micrographia* című könyvében, és egy bolha képe ugyanebből a műből.

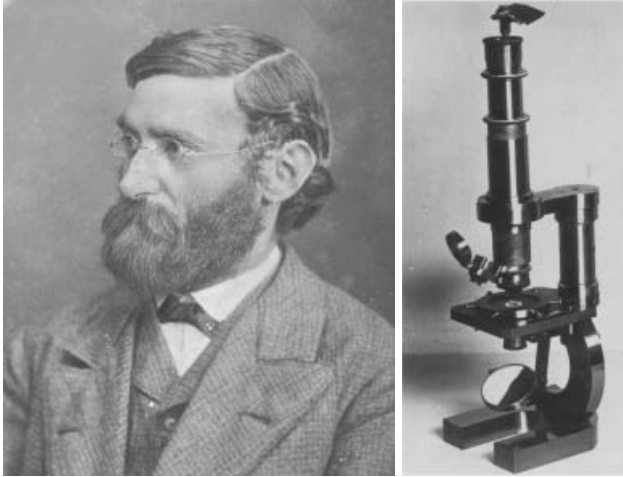
kétlencsés mikroszkóppal dolgozott, hanem mindig csak egyetlen, szerencsésen kiválasztott üvegcséppet használt a nagyításra, de a vizsgált tárgyat két merőlegesen álló csavarral tudta a lencse előtt finoman mozgatni, beállítani (3. ábra). Sok ilyen eszköze maradt fenn, egyiknek másolatát a budapesti Orvostörténeti Múzeumban is megcsodálhatjuk. Leeuwenhoek írta le először a szabad szemmel láthatatlan mikroorganizmusokat, mint „apró mozgó lényeket”, megalapozva ezzel a mikrobiológia tudományát.

A fénymikroszkóp sikertörténetének ezután számos állomása és elágazása volt, még 1925-ben, sőt még 1953-ban is adtak Nobel-díjat újfajta fénymikroszkóp feltalálásáért, vagy új mikroszkópi vizsgálati módszer kidolgozásáért. 1925-ben *Zsigmondy Richárd* (1865–1929) magyar származású osztrák–német vegyész, a kolloidkémia kiemelkedő alakja kapott Nobel-díjat az ultramikroszkóp feltalálásáért, 1953-ban pedig *Frits Zernike* (1888–1966) holland természettudós a fáziskontraszt-eljárás kidolgozásáért.

Van még egy tudós, akiről semmiképp sem lehet megfeledkezni a fénymikroszkóp több száz éves történetében: ő *Ernst Abbe* (1840–1905) német fizikus, akinek optikai munkássága virágoztatta fel Jénában a Carl Zeiss Műveket. Számos találmánnyal járult hozzá a mik-

3. ábra. Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) egyik egylencsés mikroszkópjának magyarázó ábrája Henry Baker rajza a 18. század közepéről. Jobbra a mikroszkóp – amely egy tenyérben elfér – demonstrációs példánya.





4. ábra. Ernst Abbe (1840–1905) és egy 1875-ös Zeiss-mikroszkóp.

roszkóp fejlesztéséhez (4. ábra). Megmutatta, hogy nem egyedül a nagyítástól függ a mikroszkóp teljesítő képessége. Bevezette a mikroszkóp felbontóképességének fogalmát, amellyel kijelölte a továbbfejlesztés irányát. A fény hullámelmélete alapján levezetett formulában ugyanis a mikroszkóp felbontási határa egyenesen arányosnak adódott a fény hullámhosszával.

A 20. században ez azt jelentette, hogy ha olyan mikroszkópot lehetne összeállítani, amely nem fényvel, hanem elektronokkal képezi le a tárgyat, akkor e mikroszkóp felbontási határa 2–3 nagyságrenddel is kisebb lehetne, mint a fénymikroszkópoké.

A transzmissziós elektronmikroszkóp feltalálói

Mindenek előtt az izzókatódos katódsugárcső kifejlesztőjéről, *Karl Ferdinand Braun* (1850–1918) német feltalálóról kell megemlékeznünk, aki a 19. és 20. század fordulóján számos találmánnyal hívta fel magára a figyelmet, az iskolai fizikaórákról ma is ismert elektroszkópoktól kezdve a rádiótechnika számos eszközének (kristálydióda, az antennához induktív módon csatolt rezgőkör) kifejlesztésén át a katódsugár-oscilloszkópig. A katódsugárcsővet német nyelvterületen, sőt Ja-

5. ábra. Karl Ferdinand Braun (1850–1918) és első katódsugárcsőve.



pánban még ma is Braun-csőnek hívják (5. ábra). *Marconi*val együtt kapott fizikai Nobel-díjat 1909-ben „a drót nélküli távíró kifejlesztésében való érdemei elismerésül”. Több német egyetemen volt megbecsült professzor, szabadalmait főleg a német Telefunken cég használta fel rádióhálózatának kiépítésekor. Ennek kapcsán keveredett a Telefunken és a brit Marconi cég szabadalmi vitába New Yorkban, ebben a perben idézték meg Braun professzort 1914-ben tanúnak. Ő 1915 elején kiment, tanúskodott, de már nem tudott visszatérni a háborút viselő Németországba. Közben az Egyesült Államok is hadba lépett Németország ellen. Braun Brooklinban halt meg 1918. április 20-án, néhány hónappal a háború befejeződése előtt.

1926-ban *Hans Busch* (1884–1973) német fizikus az elektronok mágneses térben befutott pályáiról publikált egy elméleti dolgozatot. Rámutatott, hogy alkalmasan kialakított mágneses lencsékkel az elektronnyaláb fókuszálható lenne. Ennek gyakorlati megvalósítása megragadta a fiatal kutatók képzeletét. 1927-ben például *Gábor Dénes* (1900–1979), aki a katódsugár-oscilloszkópot választotta doktori disszertációja témájául Berlinben, a nagyfeszültségű hálózatokban fellépő tranzien impulzusok vizsgálatára növelte meg az oscilloszkóp érzékenységét, időbeli felbontó képességét. Eközben kikísérletezett egy vassal körülvelt rövid tekercset az elektronsugár fókuszálására, és amikor utána a Siemens alkalmazásába állt, tovább dolgozott a témán.

Hasonlóképp az elektronnyalábok fókuszálásán dolgozott 1928-tól kezdve *Ernst Ruska* (1906–1988) német műegyetemi hallgató Berlinben. Hamar felismerte, hogy az elektronnyaláb nem homogén, benne az elektronok sebessége széles határok között változik, így pedig se határozott fókuszpontot, se éles képet nem lehet kapni. A műegyetem nagyfeszültségű laboratóriumának elektronsugarakkal foglalkozó kutatócsoportjában jól együtt tudott dolgozni *Max Knoll* (1897–1969) elektromérnökkel (a kutatócsoport vezetőjével), és ketten együtt kikísérleteztek egy olyan megfelelő mágneses lencséből és diafragmákból álló elektronoptikai rendszert, amellyel kis nyílásszögű nyalábbal néhány tizedmilliméter átmérőjű fókuszfoltot tudtak előállítani (6. ábra). 1931. április

6. ábra. Max Knoll (1897–1969), balra és Ernst Ruska (1906–1988), jobbra 1931-ben az első elektronmikroszkóppal.



7-én bemutathatták kollégáiknak a világ első elektronmikroszkópját. Ez a 16-szoros nagyítású mikroszkóp még messze nem érte el az akkori fénymikroszkópok teljesítőképességét, de utat nyitott a fejlődés előtt.

Az igazat megvallva Ruska sem és Knoll sem az anyag hullámok elvéből kapta az indítást munkájához, ők csupán egy jópofa fizikai analógiára támaszkodtak, ami a fénysugarakkal és az elektronsugarakkal történő képalkotás hasonlóságára épült. Gábor Dénes, aki viszont Berlinben a tudományegyetemen a Laue-kollokviumokat is látogatta és követte az elméleti fizika rohamos fejlődését, már világosan meg tudta fogalmazni az elektronmikroszkóp elvi problémáját: minél jobban csökkentjük a diafragmák szűkítésével a „lencsehibákat”, annál jobban előkerül az elektronok hullámtermészetéből adódó diffrakció, és ez fogja növelni az élettenséget. Ezért Gábor Dénes egészen új módon próbálta meg javítani az elektronmikroszkópot: célul tűzte ki olyan leképezés megvalósítását, amely a tárgyról érkező hullámnak nemcsak az amplitúdóját, hanem a fázisát is figyelembe veszi. Elég érdekes, hogy ezt az elvet végül is nem az elektronmikroszkópnál, hanem a fényképezésnél lehetett igazán alkalmazni, így született meg a holográfia. A megoldásra az akkor már Angliában dolgozó Gábor Dénes 1948-ban jött rá. Így is a lézer feltalálásáig kellett várni, hogy a holográfia a gyakorlatban is alkalmazható legyen, majd 1971-ben Gábor Dénes fizikai Nobel-díjat kapjon. (Még a „holográfia” elnevezés is Gábor Dénes leleménye.)

Először 1935-ben érte el az elektronmikroszkóp felbontóképessége a fénymikroszkópét. Újabb probléma lett, hogy az elektronnaláb olykor túlmelegített, be is égette a tárgyat, a „mintát”, amint áthaladt rajta. Először 1937-ben, a torontói egyetemen készült el egy olyan elektronmikroszkóp, ami már külső felhasználók számára is megfelelőnek látszott, de csak 1942-től kezdődött meg a kereskedelmi forgalmazás az RCA (Radio Corporation of America) jóvoltából.

A pásztázó (scanning) elektronmikroszkóphoz vezető út

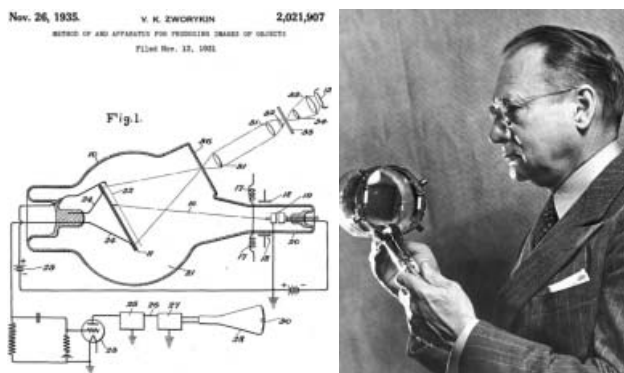
A „szkennelés” a mai számítógépes másolás mindennapi gyakorlata, a kifejezés már szinte köznyelvi szóvá vált. A felhasználó a legritkább esetben gondolkodik el a szó jelentésén, még kevésbé a berendezés működésén. Meglepődik, ha megtudja, hogy az itteni képrögzítési elv mennyire hasonlít a televízióéhoz és még az elektronmikroszkópok jelentős csoportja is hasonló elven működik. Ez az elv a következő: a leképezendő tárgy pontjairól nem egyszerre, hanem gyors egymásutánban, meghatározott rend szerint gyűjtjük és továbbítjuk az információt. A 20. század közepére kialakult gyakorlat szerint a televíziós felvételnél egy elektronsugár pásztázta végig a fényérzékeny ernyőre vetített képet, amelyről az információt gyűjtöttük és továbbítottuk. Sok közvetítő lépés után a tv vevőkészülékben egy modulált elektronsugár pásztázta végig a készülék képernyőjét, szinkronban a felvevővel, így alakult ki a kép, amit láttunk.

A televízió és az elektronmikroszkóp fejlesztése egymással párhuzamosan történt a 20. században, a két világháború között. Sokszor ugyanazok a mérnökök dolgoztak mindkét területen. A már említett Max Knoll az elektronmikroszkóp 1931-es elkészítése után az egyetemről a Telefunkenhez igazolt át, ahol a televíziós képcső fejlesztésén dolgozott. Magántanárként továbbra is besegített a műegyetemi kutatásokba: 1935-ben sikeresen kísérletezett azzal, hogy a televíziónál alkalmazott pásztázás elvét az elektronmikroszkópnál is érvényesítse. Ernst Ruska ugyanakkor a Siemens munkatársa lett, ahol fő feladata volt az elektronmikroszkóp fejlesztése.

Az ikonoszópkóp *Vladimir Kozmich Zworykin* (1888–1982) orosz származású amerikai mérnök találmánya. Még ezt a „képnéző” nevet is ő adta neki. Lényege az, hogy egy katódsugárcsőben lévő, fényérzékeny mozaikkal bevont lemezre kell vetíteni az optikai képet, amelyet a katódsugár végigpásztáz, egyenként kisütve a mozaik elemeit alkotó pici kondenzátorokat. A keletkező elektromos jeleket az ikonoszópkópon kívüli elektromosan felerősítették, ezzel modulálták a vívő elektromágneses hullámot. Vevő oldalon a demodulált elektromágneses hullám vezérelte egy másik katódsugárcsőben az ikonoszópkóp katódsugarával szinkronban pásztázó elektronsugár erősségét. Kezdetleges formában Zworykin már az 1920-as években szabadalmaztatta televíziós rendszerét, azután folyamatosan továbbfejlesztette, más szabadalmakkal kibővítette, és a működő ikonoszópkópot 1933-ban mutatta be – akkor már az RCA képviselőjében – a sajtó és az érdeklődő nagyközönség számára (7. ábra). A német Telefunken cég ekkor vásárolta meg a szabadalmat, és erre a találmányra építve valósította meg az 1936-os berlini olimpia televíziós közvetítését.

Zworykin hosszú élete bővelkedett az izgalmas fordulatokban. A szeptérvári műszaki főiskolán diplomázott 1912-ben, majd európai körútra indult, különböző fizikai intézeteket látogatott meg. Párizsban például *Paul Langevin* (1872–1946) ismertette meg a misztikus X-sugárral. Utána az első világháború alatt az oroszországi Marconi cégnél tesztelte a hadsereg számára készülő rádiókat. 1918-ban egy sarkkutató expedíció tagjaként lépett először amerikai földre, majd hazatérve az omszki Kolcsak-kormány megbízásából ment ki újra, tárgyalni az amerikai kormánnyal. A fehérek bukása, *Kolcsak* ha-

7. ábra. V. K. Zworykin (1888–1982) az ikonoszópkóppal és a szabadalmi leírás egyik magyarázó ábrája.





8. ábra. L. A. Kubetsky (1906–1959) és a világ első fotoelektron-sokszorozója.

lála után Zworykin végleg az Egyesült Államokban maradt. PhD dolgozatát Pittsburgh-ben adta be és védte meg a fényelektromos cellák működéséből 1926-ban. Amikor egy régebbi orosz emigráns, az 1900 óta Amerikában élő *David Sarnoff* (1891–1971) 1928-ban áthívta Zworykint a Westinghouse-tól az RCA-hez és kutatórészleget szervezett számára a televíziós rendszer fejlesztéséhez, felgyorsult a kutatás. 1930-tól kezdve Sarnoff már az RCA és az NBC (National Broadcasting Company) elnökeként küldhette Zworykint európai körútra ötleteket gyűjteni, és ha szükséges, szabadalmakat vásárolni az amerikai cég számára.

A szabadalmak adás-vétele megszokott, bevett gyakorlat volt egy olyan ígéretes, az egész fejlett technikájú világra kiterjedő iparágban, mint a televízió. Példaként említhetjük egy magyar feltaláló, *Tihanyi Kálmán* (1897–1947) esetét. Ő is távolbalátó elektromos rendszer kifejlesztésén dolgozott Magyarországon. Első szabadalmi bejelentése 1926-ból származik, ebben már kifejtette a töltéstárolás ötletét. Képfelbontó készülékének a radioszkóp nevet adta. A készülék megépítését *Rybár István* (1886–1971) és *Kornfeld Móric* (1882–1967) is támogatta. Tárgyalásokat kezdett olyan külföldi cégekkel, mint a Telefunken és a Siemens, de nem tudtak megegyezni. Berlinben saját laboratóriumot rendezett be, ahol 1929-ben elkészült első kísérleti képfelvető csöve, ezt Angliában és Franciaországban is szabadalmaztatta. Az általa kifejlesztett televízió katonai alkalmazása iránt az angol légügyi minisztérium és az amerikai RCA mutatott érdeklődést. Az RCA-vel megkezdett tárgyalásokon megemlítette az általa szabadalmaztatott töltéstárolási elvet. Zworykinék 1931 májusában sikeresen próbálták ki a Tihanyi-szabadalmakban alkalmazott megoldást és októberre elkészült az új képbontó cső első példánya, amelyet Zworykin ikonoszkópnak nevezett el... Semmi kétség, Zworykin felhasználta Tihanyi találmányát az ikonoszkóp kialakításához. Csak éppen elfelejtette ezt megemlíteni a későbbiekben, szívesebben hivatkozott saját korábbi próbálkozásaira.

1934-ben Zworykin a Szovjetunióba látogatott, ahol előadásokat tartott, bemutatta az RCA legújabb termékeit. Leningrádban találkozott egy tehetséges fiatal

mérnökkel, aki egy új, rendkívül érzékeny fényérzékelő eszközt fejlesztett ki, s ezt meg is mutatta a tekintélyes vendégnek. *L. A. Kubetsky* (1906–1959) találmánya sokelektrodás kisülési cső volt, amit 24 éves korában talált fel és azóta olyan fokra tökéletesítette, hogy elkápráztatta vele Zworykint (8. ábra). Ez az 1930-ban feltalált készülék volt az első fotoelektron-sokszorozó a világon. Még nem volt neve, a Szovjetunióban csak Kubetsky-csőnek hívták. Hazafelé utaztában Zworykin berlini szállodai szobájában felvázolta (a jegyzetlap ma is megvan) és Amerikában megvalósította ezt a találmányt. Nem lehet tudni, hogy létrejött-e valamilyen titkos megállapodás az RCA és Kubetsky között, ennek nem maradt írásos nyoma. Tény az, hogy 1935-ben az amerikai *Electronics* címlapján szerepelt Zworykin fényképe, amint az RCA legújabb produktumát, a fotomultiplier prototípusát tartja kezében.

Zworykin Magyarországra is ellátogatott, az Egyesült Izzóban *Aschner Lipót* (1872–1952) kérte fel, hogy véleményezze a gyár újdonságait. Meglehetősen lekezelően nyilatkozott *Selényi Pál* (1884–1954) elektrosztatikus képmásolójáról, nem is lett belőle Tungsram-gyártmány. 1936. februárban – még az olimpia előtt – Berlinben meglátogatta egy tehetséges fiatal német mérnök, *Manfred von Ardenne* (1907–1997) lichterfeldi laboratóriumát, aki bemutatta neki az általa kifejlesztett képfelvető csövet. „Megállapítottuk, hogy egymás munkájáról semmit sem tudva, majdnem egyszerre mindkettőnknek ugyanaz a gondolata támadt, vagyis ugyanazt találtuk fel.” – emlékezett vissza von Ardenne később.

Ez a fiatal német mérnök egy év múlva feltalálta a pásztázó transzmissziós elektronmikroszkópot (9. ábra). *Egy boldog élet a technika és a tudomány szolgálatában* című önéletrajzi könyvében így írta le találmányának 1937-es megszületését:

9. ábra. Az idős Manfred von Ardenne (1907–1997) modulokból összeállítható elektronmikroszkópjával.



„Egyik találmányom, amelynek születése minden részletére még ma is pontosan emlékszem, az elektronrasztarmikroszkóp (electron scanning microscope). Amikor egy csendes órában eltöprengtem a különféle képhibákon, amelyek összhatásukban korlátozzák a normál transzmissziós elektronmikroszkóp képfelbontó képességét, felmerült bennem az az alapgondolat, hogy többlépcsős elektronoptikai kicsinyítéssel előállított rendkívül finom elektronfolttal ugyanúgy letapogassuk soronként a mikroszkopikus tárgyat, mint egy televíziós felvételnél, és a tárgyból kiinduló (szekunder) elektronsugárzást felhasználjuk egy szinkronban vezérelt elektronikus kép modulálására. Azon töprengtem, hogyan lehetne elkertülni az elektronmikroszkóp-nál fellépő úgynevezett »kromatikus képhibákat«, amelyek abból származnak, hogy a tárgy különféleképpen eresztí át a primer elektronsugárzást...”

A feladat megoldásának konkrét módja, a teremtő gondolat szikrája azután egy idegen és egy általam kigondolt elektronoptikai elrendezés kombinációjából összegződött: a Max Knoll által leírt tesztképadóból, amely még viszonylag durva, néhány tizedmilliméter átmérőjű elektronsugárral tapogat le egy klisé, és az általam röviddel előbb kigondolt elrendezésből, hogy kis fókusztávolságú elektronikus lencsékkel egy- vagy többlépcsős lekicsinyítés révén szubmikroszkopikus finom katódfolttal állítsak elő (a sugárnyaláb visszafordítása az elektronmikroszkópban). Ehhez a felvázolt megoldásötlethez néhány perc múlva még egy gondolat járult: a tárgy felszínén kiváltott szekunder elektronsugárzást felerősítem több nagyságrenddel egy »szekunderelektron-sokszorozóval«, és felhasználom a képcső szinkronban eltérített elektronsugárzásának modulációjára...”

A transzmissziós elektronmikroszkóp optikai megfelelője a transzmissziós fénymikroszkóp, mindkét

esetben valamilyen vékony (elektronmikroszkóp esetén nagyon vékony) metszet átvilágítása során keletkezik a kép. A pásztázó elektronmikroszkóp mai felhasználása inkább a fémmikroszkópéra emlékeztet, amelynél nincs lehetőség a minta átvilágítására, csupán a minta felületéről, vagy annak mikrokozonyzetéről nyerhetünk vele információt. Ugyanakkor a pásztázó elektronmikroszkóp „mélységelessége” meglepően nagy, eltérően minden fajta fénymikroszkóptól. Ezért olyan szemléletesek, „térhatásúak” a pásztázó elektronmikroszkóp által elővarázsolt képek.

1937 után Manfred von Ardenne nem a pásztázó elektronmikroszkópot fejlesztette tovább, hanem a felbontóképesség növelése érdekében egyre nagyobb feszültségű transzmissziós elektronmikroszkópokat tervezett. 1939 végére elkészült az a 200 kV-os „univerzális” elektronmikroszkópja, amellyel a feloldási határt 3 nm-re tudta csökkenteni és még sztereófelvételekre is alkalmassá tette. Osztódó baktériumok képeit csodálta meg a laboratóriumba látogató *Max von Laue* (1879–1960) és *Max Planck* (1858–1947) is. A háború alatt – a Laue kérésére felvett *Fritz Houtermans* (1903–1966) javaslatára – azonban ciklotron építésébe fogott és magfizikai kutatásokra tért át.

Berlin eleste után a megszálló szovjet csapatokkal bevonuló, katonai egyenruhába öltöztetett szovjet fizikusok örömmel fedezték fel a lichterfeldi, betonbunkerbe menekített laboratóriumot. *Abram P. Zavenjagin*nak, *Berija* első helyettesének parancsára és irányításával von Ardenne egész megmenekült családját a viszonylag sértetlenül megmaradt laboratóriummal és a kutatói személyzettel együtt kiszállították a Szovjetunióba, ahol Berijával való egyezkedés után von Ardenne az izotópszétválasztásban való közreműködést vállalta a szovjet atombomba előállításában. Dehát ez már egy másik történet.

A FIZIKA TANÍTÁSA

ÜTKÖZÉSEK ELEMZÉSE ENERGIA-IMPULZUS DIAGRAMOKKAL II. – A RELATIVISZTIKUS RAKÉTA

Bokor Nándor
BME Fizika Tanszék

Ebben a cikkben olyan járművet nevezek rakétának, amely állandó ütemben, magához képest állandó u sebességgel hajtógázt bocsát ki hátrafelé, és így hajtja magát előre. Egy rakéta akkor relativisztikus, ha a sebességek – a hajtógázé vagy a rakétáé vagy mindkettőé – a fénysebességgel összemérhetőek. (A cikk-

ben végig $c = 1$ egységeket használok [1]. A sebességek ennek megfelelően dimenzió nélküli számok, amelyek csak (-1) és 1 közötti értékeket vehetnek fel; a tömeg, impulzus és energia pedig ugyanabban az egységben mérendő.)

A gyorsítási folyamat során a rakéta tömege folytonos ütemben csökken (hiszen hajtógáz formájában tömeget lövell ki). Az alapprobléma: meghatározni a

Köszönetemet fejezem ki *Hraskó Péter*nek hasznos javaslataiért.