

FIZIKAI SZEMLE

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT LAPJA

XI. évfolyam

7. szám

1961. július

A biofizika időszerű kérdései

(Elhangzott a Magyar Biofizikai Társaság alakuló ülésén, 1961. március 3-án.)

A fizika és biológia, valamint a fizika és a medicina kapcsolatát illetően több elnevezés használatos. Ezeknek egy része, mint pl. fiziológiai akusztika, elektrofiziológia, az említett tudományok bizonyos részterületeire utal, más elnevezések viszont, mint pl. fizikális terápia, molekuláris medicina, kvantumbiológia önállósult vagy önállósuló határterületeket jeleznek. A következőkben csak két fogalom tartalmi jegyeivel kívánok foglalkozni, az egyik az orvosi fizika, a másik a biofizika.

Úgy vélem, helyes úton járunk, ha *orvosi fizikán* a fizikának a medicina szempontjából különösebb jelentőségű fejezeteit értjük. Arról van szó tehát, amit külföldi szerzők „Fizika orvosok, biológusok számára” című tankönyvekben és kézikönyvekben összefoglalnak. Az orvosi fizika elnevezés a mi terminológiánkban is többet jelent, mint amire az egyszerű szóösszetétel utal, és általánosabb értelemben a biológia szempontjából fontos fejezeteket tartalmazza. Akár a magyar, akár a külföldön használatos elnevezésre gondolunk, egyik sem utal önálló tudományterületre vagy valamilyen határtudományra.

Arra a kérdésre, hogy milyen mértékű és milyen mély fizikai ismeretekre van szüksége az orvosnak vagy a biológusnak, a válasz nem egyszerű és nem is meglepő, hogy a legkülönbözőbb véleményekkel találkozunk. Helyes talán, ha külön vizsgáljuk a kérdést a biológia és az orvostudomány (a későbbiekben a rövideg kedvéért csak biológia) egésze és külön az orvos, illetőleg biológus egyéni munkaköre szempontjából. A biológiai tudományok egészét tartva szem előtt, nem emelhetők korlátok. A kapcsolat a fizika és a biológiai tudományok között máris sokoldalú, de még többet ígér a jövő. Ami ma a biológia szempontjából közömbösnek látszik, holnap érdekes lehet. „A ma fizikája a holnap technikája” megállapítás a fizika és a biológiai tudományok kapcsolatában is helytálló. Ezt igazolja a két nagy tudomány története, de sejtí mindenki, aki figyelemmel kíséri az említett tudományok modern fejlődését.

Az orvos, illetőleg biológus egyéni munkaköre viszont rendkívül változatos, és ennek megfelelően

az egyén igényei is különbözők a fizikával szemben. Az általános biológus, zoológus, botanikus, a higiénikus, a sugárbiológus, radiológus igényei természetesen más méretűek, és más területeken mozognak, mint pl. a szemész vagy a laboratóriumi orvos, a mikrobiológus, a belgyógyász igényei. Különbséget kell tennünk természetesen a kutatómunka és a mindennapos rutinfeladatok között, sőt külön kell vizsgálat alá venni a biológus- és orvosképzés szempontjait is. Az igények természetesen az egyes tudományterületek fejlődésével koronként is változnak. Éppen az egyéni igények széles skálája miatt a kérdés második részére egyértelmű választ nem adhatunk.

A *biofizika* a biológiai problémákban rejlő fizikai jelenségek, folyamatok, törvények stb. feltárására és megismerésére törekszik. A biofizikus fizikai tanulmányokat folytat a fizika módszereivel, anélkül azonban, hogy elhagyná a biológia talaját. A biofizika azonban nem tekinthető csupán a fizika és biológia határtudományának, átnyúlik ugyanis a biokémia területére is, különösen ha az élő anyagban lejátszódó elemi folyamatokat tanulmányozzuk. Éppen ezért a biofizikában az említett diszciplínák gondolkodásmódjának, elképzeléseinek, fogalmainak és munkamódszereinek szintézisével találkozunk.

A biofizika felismerései különös hatással vannak bizonyos speciális területekre, ahol azután nemcsak alkalmazást találnak, de tovább is fejlődnek. Gondolok pl. a fizikális terápiára, a daganatkutatásra, neurológiára, balneológiára stb. Érvényes azonban a megállapítás a botanika, zoológia, bioklimatológia, táplálkozástudomány vonatkozásában is, a genetikában elért eredmények pedig kihatnak a növénytermesztésre és állattenyésztésre is. A biofizikának az utolsó évtizedekben mutatott fejlődése nem utolsó sorban éppen annak az ösztönzésnek köszönhető, amit eredményeinek az említett területeken való értékesítése váltott ki.

A fizikusok régebben is foglalkoztak a biológia területéről származó problémákkal, és hasonlóképpen a biológusok és orvosok is fáradoztak azon, hogy problémáikat a fizika oldaláról is vizsgálat tárgyává tegyék. Nem beszélhetünk azonban bio-

mechanikának már ismert módszereit felhasználják a szervezetet felépítő molekulák tulajdonságainak és a legegyszerűbb biológiai struktúráknak a megismerésére. Ezek tekinthetők ma a legfejlettebb eljárásoknak, amelyekkel talán a legmélyebbre is tekinthetünk. Ilyen vonatkozásban kevésbé a biológusok — tisztelet a kivételnek — inkább a fizikusok optimisták és talán nem is ok nélkül.

Az alapvető tendencia mindenütt, és ezt ismételtelen szeretném hangsúlyozni, a strukturális viszonyok és az elemi folyamatok egyre mélyebb feltárása, amelyben a biokémiai és biofizikai kutatások — gyakran szétválaszthatatlanul — egymást egészítik ki.

A továbbiakban néhány biofizikai problémakörrel kissé részletesebben is szeretnék foglalkozni.

Az első problémakör, amire utalni kívánok, a *sugárzások és az élő szervezet kölcsönhatása*. Az utóbbi években az érdeklődés főként a *nagyenergiájú sugárzások* felé irányult, amit a gyakorlati vonatkozások is indokolnak. Itt a tiszta fizikai kutatásokkal párhuzamosan haladnak a biológiai vonatkozású vizsgálatok. A terület hatalmas: az élő és élettelen határán levő mikroorganizmusoktól kezdve egyes sejteken, sejtesoportokon, szöveteiken, szerveken keresztül a legfejlettebb teljes élő szervezetig; a problémát tovább növeli és szélesíti az a körülmény, hogy a különböző elektromágneses és korpuszkuláris sugárzások éppen az élő anyag rendkívül bonyolult felépítése folytán a specifikus hatások nagy tarkaságát hozzák létre. Az ionizációt és gerjesztést követő szekundér folyamatok sokféleségére gondolok. A primér folyamatok következtében létrejött molekuláris disszociáció szabad gyökök képződéséhez vezethet, amelyek viszont bonyolult kémiai folyamatok elindítói lehetnek. Ezek következtében biológiai objektumokban funkcionális és morfológiai elváltozások jöhetnek létre. Így jutunk el a biológiai hatásokhoz, amelyek tehát közvetett sugárhatásoknak tekintendők. A szekundér folyamatokat ezideig főleg fizikailag és kémiailag egyszerű felépítésű anyagokon vizsgálták, mint pl. a víz és híg vizes oldatok. Még ezeken is a szekundér jelenségek nagy és nehezen követhető tarkaságát találták. Természetes ezek után, hogy sokkal bonyolultabbak a viszonyok az élő szervezetben, de akár egyetlen sejtben is. Olyan problémák várnak itt tisztázásra, amelyek elvi jelentőségük mellett a sugárterápia, daganatkutatás, a genetika, a munkaegészségügy stb., tehát az orvostudomány, az általános biológia, a növénytermesztés, állattenyésztés és más tudományok szempontjából is alapvető fontosságúak.

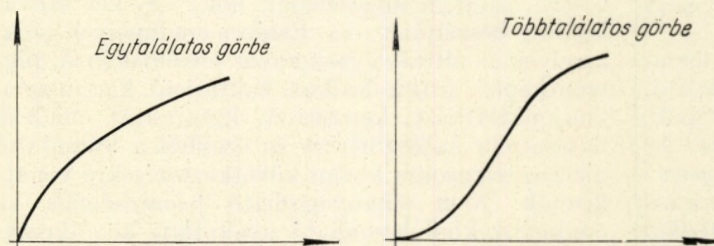
Külön területként jelölhetjük meg — továbbra is a sugárbiológián belül maradván — a *kisenergiájú elektromágneses sugárzások* hatásainak vizsgálatát. Ide sorolom az infravörös tartomány, a rövid, közép és hosszú hullámhosszúságú elektromágneses hullámok biológiai objektumokkal való kölcsönhatását. Nem intézhetjük el ezeket a területeket egyszerűen azzal, hogy itt oly kis fotonok abszorpciójáról van szó, amelyek ionizációt nem keltenek, legfeljebb gerjesztenek, nem érdemes

tehát foglalkozni velük. A tapasztalat rácafol erre a gondolatra, hiszen ismeretesek az infravörös sugárzás káros hatásai, az ultrarövid és rövid elektromágneses hullámokat terápiás célokra felhasználjuk, a rádióadó állomások közelében élő emberek gyakran különböző panaszokkal fordulnak orvosukhoz, amely panaszok feltehetően a nagyintenzitású elektromágneses tértől származnak. Az utóbbi terület jelenleg még meglehetősen üres és körültekintő alapkutatót igényel.

Az *ultraibolyasugárzásra* a nagyenergiájú sugárzásokkal kapcsolatban már utaltam ugyan, jelentősége azonban megérdemli, hogy egy-két szóval külön is beszéljünk róla. Értékes eredmények azok, amelyek az ultraibolyasugárzás eritémaképző, pigmentképző, antirachitikus, baktericid, karcinogén, konjunktivitiszt, keratitiszt, kataraktát előidéző hatásainak hatásgörbéire és ezekből a különböző mechanizmusokra levont következtetésekre vonatkoznak. Nem elhanyagolható jelentőségűek az eredményekből levonható gyakorlati következtetések sem. A mechanizmusok mélyebb tisztázása még a jövő feladata.

A sugárzások biológiai hatásával kapcsolatban igen értékes elmélet fejlődött ki, amely a hatásmechanizmusok finomabb részleteibe bizonyos betekintést enged. Ez az elmélet a *találat-elmélet*. Az elmélet jellegzetességét szeretném röviden fölidézni. Egy ismert modelltől indulok ki. Képzeld el ugyanis, hogy egy falból vékony üvegrudacska nyúlnak ki, amelyek végére vékony papírból 8–10 cm átmérőjű korongot erősítünk. A falat távolról csak úgy találomra légpuskákból lövöldözik. Bizonyos ideig tartó lövöldözgetés után a korongok egy része leesik, „elpusztul”. Egy korongot több találat is érhet, mégsem esik le. Az elpusztuláshoz az szükséges, hogy a korongot „érzékeny” helyén, ott ahol fölfekszik az üvegrúdra, legalább egy találat érje. Minél hosszabb ideig lövöldözgetünk, annál több korong fog elpusztulni. Az elpusztult korongok számát rajzoljuk fel az idő, illetőleg a lövedékek számának függvényében. Hasonló eset képzelhető el akkor is, ha pl. kolloidum hártára helyezett légytetőt röntgenfényvel besugárzunk. Most a röntgenfotonok a lövedékek, a korongok szerepét pedig a légytetők veszik át, amelyeknek ugyancsak lehet érzékeny tartományuk, miként a korongoknak is volt. Most is fölrajzolhatunk egy görbét, amely arra ad felvilágosítást, hogy hogyan nőtt az elpusztult peték száma a kapott röntgendózis függvényében. (1. ábra.) — Az ilyenszerű folyamatok időbeli lejátszódása azonban matematikailag követhető. A valószínűségszámítás segítségével ugyanis kiszámítható, hogy bizonyos idő múlva hány korong leesése, illetőleg bizonyos dózis után hány pete elpusztulása várható. Tisztán matematikai úton is eljuthatunk tehát egy függvényhez, amely ugyancsak arra ad felvilágosítást, hogy hogyan nő az elpusztult korongok száma a leadott lövések számával, illetőleg hogyan szaporodik az elpusztult peték száma a kapott dózis nagyságával. A matematikai úton kapott formulában az érzé-

keny tartomány nagysága is szerepel, és a következőkben éppen ez a fontos. A papírkorongok esetében az érzékeny tartomány könnyen lemérhető, a peték esetében viszont ezt nem tudjuk megtenni, sőt azt sem tudjuk, hogy egyáltalában beszélhetünk-e érzékeny tartományról, vagy pedig a pete teljes térfogatában egyformán érzékeny. Meghatározhatjuk azonban a peték esetében is az érzékeny tartomány nagyságát közvetve. Kikeressük ugyanis azt a térfogatértéket, amit formulánkba be kell helyettesítenünk, hogy azután a formula jól illeszkedjék a tapasztalati görbéhez.



1. ábra. Egytalálatos görbe 2. ábra. Többtalálatos görbe
A vízszintes tengelyre a dózist, a függőlegesre a kiváltott hatást, pl. az elpusztult peték számát mérjük fel.

Számos különböző céllal végzett vizsgálatból arra kell következtetnünk, hogy a szöveteket felépítő sejtek valóban tartalmaznak mikroszkopikus vagy szubmikroszkopikus „alegységeket”, amelyek bizonyos beavatkozásokkal, hatásokkal szemben fontos szerepet játszanak. Ezeknek az egységeknek a mérete lemege egészen a molekuláris méretekig, ill. rendszerekig. Struktúráikban és viselkedésükben felismerhető egyrészt a nagyobb atom, ill. molekula-komplexumok fizikájának minden lényeges vonása, ugyanakkor ezek biológiai sajátosságokkal is rendelkeznek, amely képessé teszi őket arra, hogy az életfolyamatok aktív részesei legyenek. Részben biológiai, részben tisztán fiziko-kémiai vagy kvantumfizikai tulajdonságokat mutató tartományokról van szó. A találat-elmélet éppen azt teszi lehetővé, hogy meghatározzuk ezeknek a tartományoknak a kiterjedését.

Az említett példában a peték elpusztításáról volt szó, de vizsgálhatnánk azt is, hogy különböző mutációk keltése vagy egyéb tulajdonságok megváltozása hogyan függ a röntgensugár vagy más sugárzás dózisától. A kapott dóziszgörbék alakja a különböző esetekben különböző lehet. (1. és 2. ábra.) A találat-elmélet alapján azonban meg tudjuk magyarázni a különböző alakok létrejöttét. Az előzőkben olyan példáról volt szó, amelyben a hatás kiváltásához egyetlen találatra volt szükség. Vannak azonban esetek, amikor egy bizonyos változás vagy hatás létrejöttéhez legalább kettő, de esetleg több találat is szükséges. A találat-elmélet megmutatja, hogy ilyen esetben milyen alakú görbe várható. Ha tehát ismerjük egy hatás dóziszgörbét, akkor összehasonlítva ezt az elmélet által megadott görbékkel, kikereshetjük, hogy a mért görbe melyik elméleti görbéhez hasonlít legjobban, és ekkor meg tudjuk azt is mondani, hogy

a hatás kiváltásához minimálisan hány találatra van szükség. Éppen az elmélet alkalmazásából következik, hogy egy biológiai objektum egy bizonyos hatással szemben esetleg nem egy, hanem több össze nem függő vagy esetleg egymással bizonyos kölcsönhatásban levő „érzékeny térfogattal” rendelkezik. Ha több érzékeny tartományról van szó, az elmélet segítségével ezek száma is meghatározható.

A találat-elmélet teljesítőképességét mutatja, hogy a sugárhatásoknál végbemenő folyamatokon túl, az elmélet szemlélődési módja alkalmazást talál bizonyos mikrokémiai és biokémiai folyamatok értelmezésénél, pl. karcinogén anyagok által kiváltott rákképződésnél is.

A sugárzások biofizikája terén érdemes említést tennünk néhány közvetlen gyakorlati vonatkozású részterületről is. Ilyenek pl. azok a vizsgálatok, amelyek a *sugárdózis időbeli eloszlásának* jelentőségére vonatkoznak, tehát: a sugárhatás függése attól, hogy hogyan osztjuk szét az egész dózist különböző időintervallumokra tagozódott részdózisokra. Ezek a vizsgálatok vezettek az ún. időfaktor

és kipihenési faktor megfogalmazásához a biológiai sugárhatásokban. Ugyancsak lényegesek a *sugárdózis térbeli eloszlására* vonatkozó vizsgálatok: pl. hogyan oszlik el a dózis a besugárzott objektumban, a primér és az objektum által szórt sugárzás intenzitásának eloszlása, a többszörös Compton-effektus jelentősége nagyobb objektumok besugárzásakor stb. Ezek a vizsgálatok alapvető jelentőségűek, ha racionális és sikeres mélysugárterápiát akarunk alkalmazni.

Lényeges problémakör a fizikai mértékegységek megállapítása a sugárbiológia számára, a *sugárdozimétria* fizikailag megalapozott kialakítása. Az utóbbi időben váltak jelentőssé azok a vizsgálatok, amelyek a *sugárvédelem* problémájára és a *maximálisan megengedhető dózis* vizsgálatára vonatkoznak. A mesterséges rádióaktív anyagoknak gyors elterjedése a tudományos és rutinmunkák területén, az egészségügy vonalán, valamint az iparban, továbbá a gyorsító berendezések és atommáglyák alkalmazásának nagymérvű növekedése tették ezeket a problémákat elsőrendű fontosságúvá és aktuálissá. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a rádióaktív anyagoknak már a legkisebb mennyisége, az egészen győnge sugárhatások is, ha hosszú ideig érik a szervezetet, káros következményekhez vezethetnek. A károsodás alsó határdózisa más korpuszkuláris sugárzások hatására, mint elektromágneses sugárzások hatására, és más ha külső vagy belső alkalmazásukról van szó.

Az eddigi példák a fizika modern fejlődéséhez kapcsolódnak és „divatos” kérdések a biofizikában. A következőkben más körből hozok fel példákat. Megemlítem pl. a különböző frekvenciájú elektromos áramok tovaterjedésére és hatásaira vonatkozó tanulmányokat. Ilyen vonatkozásban a biológiai szövet specifikus közegként viselkedik, amely számos különleges tulajdonsággal rendelkezik a

fizika szokásos objektumaival szemben. Ezek a vizsgálatok teremtették meg az alapokat a *nagyfrekvenciás áramok orvosi alkalmazásához, a dia-termia fizikai alapjainak tisztázásához.*

Itt tesztek említést azokról a vizsgálatokról, amelyek az *ultrahangnak* az élő szervezetre való hatásaival kapcsolatosak, és amelyek az utóbbi években több oldalról érdeklődést váltottak ki. Az utóbbi években az ultrahang terápiás alkalmazására is sor került, az alapok tisztázása, az ultrahang által a szervezetben kiváltott hatás mechanizmusának feltárása azonban még sok vonatkozásban tisztázásra szorul.

Érdekes biofizikai kutatási feladatok adódnak a bioklimatológia és a balneológia területén. A szervezetet környező világ *klimatikus és balneológiai tényezőinek fizikai-biológiai analízise* jelenleg gyors fejlődésben van: az újabb kutatási munkák főbb irányait az atmoszféra sugárháztartásának, hőháztartásának, elektromos viszonyainak stb. kutatása, illetőleg e tényezőknek a szervezetre gyakorolt befolyása képezi. Érdeklődés mutatkozik abban az irányban is, hogy a levegő összetétele milyen hatást gyakorol az organizmusokra. Előtérben áll az elektromosan töltött vagy semleges aeroszolok, továbbá a levegőben nyomokban jelenlevő gázalakú és biológiailag aktív anyagok, mint pl. az ózon, a nitrogénoxidul szerepének vizsgálata. Az utolsó két évtized folyamán sikerült az összefüggéseknek egész sorát megállapítani, amelyek arra utalnak, hogy az aeroszolok az emberi szervezet funkcióinak lefolyására jelentős hatást gyakorolnak. Kedvező hatásúaknak látszanak pl. a konyhasót, kalciumot, jódot tartalmazó természetes aeroszolok. Ezekkel magyarázható a tengeri levegő, barlangok atmoszférájának kedvező befolyása is. A hatásmechanizmus valószínűleg bonyolult és ebben szerepet játszik, hogy az aeroszolok töltéssel rendelkeznek-e vagy nem, töltésük pozitív-e vagy negatív. Nem valószínű, hogy a klimatikus hatások előidézói közvetlenül a légnyomás- vagy lélegelektromos változások legyenek, inkább arról van szó, hogy a változó körülmények megváltoztatják az aeroszolok, főként a töltéssel rendelkező aeroszolok koncentrációját, eloszlását stb. és ezek idézik elő azután a különböző biológiai hatásokat. Ezek a kutatási területek jelenleg még fejlődésük kezdetén vannak. Jelentőségük azonban kétségen kívül áll, ha pl. az egészséges lakásépítés problémáira vagy azokra a levegő higiénés problémákra gondolunk, amelyek kórházakkal, iskolákkal stb. kapcsolatban fennállnak. Az ún. levegőkondicionálás egész technikája várhatóan beható vizsgálatra szorul.

A természetes aeroszolokon kívül érdeklődés nyilvánul meg bizonyos *mesterséges aeroszoloknak* terápiás célokra való felhasználása területén is. Elsősorban légzőszervi megbetegedésekről van szó, a vizsgált hatóanyagok pedig pl. adrenalin és származékai, hipofízis hátsó lebenyének hormonja, porlasztott antibiotikumok stb. A hatás különböző paramétereiktől függhet, mint az aeroszolok ködsűrűsége, iontartalma, hatóanyagtartalma stb.

A biofizika túlnyomóan kísérleti tudomány. Az utóbbi időben azonban kialakult egy olyan irány, amely azt tűzte ki célul, hogy kifejlessze a *biológiai problémák matematikai-fizikai tárgyalását*. Idetartozik a már említett találat-elmélet, de gondolok azokra a törekvésekre is, amelyek matematikai analízisnek vetik alá pl. a sejtoszlás folyamatait és az anyagsere folyamatokat. A rádióizotópoknak az anyagsere folyamatokban való alkalmazásával kapcsolatban fejlesztették ki a „rekesz-elméletet”. A szervezet különböző vizeit egymással párhuzamosan vagy sorba kapcsolva „tartályokkal” sematizáljuk. A „rekesz” szó helyett esetleg a „tartály” szót is használhatnánk. A séma lényegében durva modell, és jelentősége nem több, mint más modelleké, amelyeket fizikai problémák megoldásában is időnként alkalmazunk. Szerepe azonban mégsem lebecsülendő bizonyos anyagok forgalmának kvantitatív analízise szempontjából.

Befejezésül szeretném hangsúlyozni, hogy teljességre nem törekedve néhány példán keresztül kívántam csupán utalni a biofizika egyes érdekesebb területeire. Elnézést kérek, ha a felsorolt példákban bizonyos mértékig az egyéni érdeklődés is tükröződik. Egy más beszámoló nyilván más példákat emelt volna ki, és az említett példákat is más hangsúlyozással tárgyalta volna. Bár az sem volt szándékom, hogy a hazai biofizikai kutatásokról összefüggő képet adjak, a példák között azonban több olyan szerepel, amelyeknek hazánkban már hagyományai is vannak.

Végezetül csak annyit, hogy egyetlen természettudomány sem tekinthető önmagában záródó tudománynak, de különösen nem tekinthető annak az olyan típusú határtudománynak, mint a biofizika. A biofizikában lényeges vonásként jelenik meg az a tendencia, hogy az eddig erősen differenciált diszciplínákat összehozza, és a természetkutatást egyetlen, egységes, nagy diszciplínává összeolvassza.

Tarján Imre

Orvosi Fizikai Intézet

IRODALOM

- [1] W. Beier : Biophysik (Leipzig, 1960 G. Thieme Verl.).
- [2] W. Beier, E. Dörner : Die Physik und ihre Anwendung in Medizin und Biologie (Leipzig, 1958 G. Thieme Verl.).
- [3] W. Beier, E. Dörner : Der Ultraschall in Biologie und Medizin (Leipzig, 1954. G. Thieme Verl.).
- [4] V. Böhlau, E. Böhlau : Die Inhalationsbehandlung mit Aerosolen (Leipzig, 1958. G. Thieme Verl.).
- [5] E. Ernst : Die Muskeltätigkeit (Budapest, 1958. Verl. der Ung. Akad. der Wissenschaften).
- [6] O. Glasser : Medical Physics (Chicago, 1951. The Year Book Publ. Inc.).
- [7] F. Hercik : Biophysik der Bakteriophagen (Berlin, 1959. VEB Dtsch. Verl. der Wissenschaften).
- [8] W. Heupke, J. Kühnau, E. Schliephake : Ergebnisse der physikalisch-diätetischen Therapie. Band V. (Leipzig, Dresden 1955. Steinkopff Verl.).

- [9] *Hoffmann, T. Ladik J.*: Sugárzások és karcinogén szénhidrogének rákkeltő hatásának magyarázata a DNS elektronszerkezete alapján (Magy. Fiz. Folyóirat, VIII, 1960., 471).
- [10] *H. Meyer, E. O. Seitz*: Ultraviolette Strahlen (Berlin, 1949. W. de Gruyter Co.).
- [11] *H. R. Schinz, H. Holthusen, H. Langendorff, D. Rajewsky*: Strahlenbiologie, Strahlentherapie, Nuclearmedizin, Krebsforschung (Stuttgart, 1959. G. Thieme Verl.).
- [12] *H. Schwiegk*: Künstliche radioaktive Isotope in Physiologie, Diagnostik und Therapie (Berlin, 1953. Springer Verl.).
- [13] *K. Sommermeyer*: Quantenphysik der Strahlungswirkung in Biologie und Medizin (Leipzig, 1952. Akad. Verlagsgesellschaft).

A mikroszkóp 350 éve

A világ szabadszemmel látható részén túl olyan területek is vannak, melyek csak műszerekkel figyelhetők meg. Az optikai távcső a 17. század hajnalán az ember horizontját a makrokosmosz felé messze kitérítette. A mikroszkóp a kicsi világot, a mikrokozmoszt nyitotta meg és ezzel az ember ráébredt, hogy a világ sokkal tágabb mindkét irányban — a kicsi és a nagy felé — mint valaha is bárki hinni merete volna.

Korunkban az ultramikroszkóp, az elektronmikroszkóp, az infravörös fényképezés, az ultrabolya sugarak megismerése, a rádió és radarcshellagászat újból hatalmas távlatokat nyitott. Ez idő szerint még nem is tudjuk megítélni, nincsenek-e újabb, olyan jellegű sugárzások, melyek esetleg ismét új horizontokat tárnak fel.

A következőkben a természetkutatók egyik legismertebb, legnépszerűbb eszközének, a szerkezetében egyébként közismert mikroszkópnak technikai kultúrhistoriáját tekintjük át, hogy képünk legyen e fontos eszköz történetéről, szerepéről, fejlődéséről.

Találmányokat nagyon gyakran — nem kicsiny nemzeti öntudattól vezetve — egy-egy személlyel kapcsolatosan szoktak emlegetni. Valamely találmány *szükségessége* mindig benne van a kor levegőjében, mert ha nem így van, ha például az újítás messze megelőzi korát, vagy ha nem létező szükségletet elégít ki, rejtve marad, vagy évszázadokig várat magára. (Leonardo posztónyírógépe, szárnyasorsója stb.). *A találmányokat mindig a kor szüksége, igénye hívja életre*, ezért találkozzunk ugyanazon eszköz esetében több feltalálással is.

A mikroszkópot Hollandiában találták fel; hollandus tudománytörténészek általában úgy vélik, hogy — az eddigi hittel ellentétben — a mikroszkópot *nem* Jansen Zacharias találta fel.

Ismeretes, hogy már a 13. században ismerték a szemüveget. Különböző csiszolású lencsék kombinációjához nem kell különösebb éleselméjűség, mégis az 1600-as évekig nem tudunk arról, hogy valaki használható távcsövet vagy mikroszkópot készített volna.

1608 és 1618 közötti időben a middelburgi Hans Lipperhey (†1619) — akit a távcső egyik feltalálójául ismernek — és az ugyancsak Middelburgból való Metius, valamint a hőtani kísérleteiről és tengeralattjáró hajójáról híres alkalmari Cornelius Drebbel (1572—1633) osztoznak a feltalálás dicsőségében. A kutatást nehezíti, hogy az egykorú feljegyzésekből nem mindig tűnik ki világosan, távcsőről vagy mikroszkópról van-e szó?

A mikroszkópot elsősorban a növény és állat-anatómia kutatói kezdték használni. Nagy élmény lehetett, mikor észrevették a légy szárnyának, szemének bonyolult szerkezetét vagy a parányi kristályok szabályos alakját.

1625-ben az olasz Francesco Stelluti tollából már könyv jelent meg a méhek anatómiájáról; a század legnagyobb természetbúvára, Malpighi megalapította a mikroanatómiát, felfedezte a hajszálereket, a vörös vértesteket, vizsgálta az idegek szerkezetét stb. 1673-ban Campani az olasz távcsövekhez hasonló felépítésű mikroszkópot épített, 1. ábra ugyanakkor megjelent Swammerdam „*Historia insectorum generalis*” c. munkája.

Robert Hooke angol fizikus (1635—1703) 1665-ben megjelent *Micrographia or philosophical description of minute bodies* (Parányi testek filozófiai leírása) c. művében bemutatta saját készítésű mikroszkópját s a lencsék csiszolásához használt csiszolókészüléket is. 2. ábra. Műszerébe fordítólencsét is épített, ezért egyenesállású képet mutatott.

1. ábra. Campani mikroszkópja 1673-ból. (Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris)

A 17—18. század távcsöveinek és mikroszkópjainak legfőbb közös hibája a lencsék szférikus és kromatikus aberrációja volt — egyéb hibák mellett. A lencsék peremének gyújtótávolsága eltért a lencseközéprész gyújtótávolságától; az üveganyagban színszóródás keletkezett, torzított, elszíneződött képet adtak. A nagyítás fokozásával a hibák is hatványozódtak.

Az összetett nagyítók számtalan optikai hibája miatt az orvosok bizalmatlanná váltak, és így a mikroszkóp teljesen a precizitással szemben kevésbé igényes amatőrök kezében maradt.

A nehéz, drága és rossz képalkotású összetett nagyítók helyett az egyszerűbb, könnyen kezelhető „egyszerű mikroszkóp”-ok terjedtek el. Ezeket a „bolhanézó üveg”-nek nevezett erős lupékat különleges foglalásban helyezték el. Nagyításuk néha az ötszázszorosot is elérte, természetesen nagyon kicsiny látómezővel. Az egyszerű mikrosz-

