

Tanulmány

METEOROLÓGIA A XIX. SZÁZAD KÖZEPÉN A NAGY ELŐD: BERDE ÁRON

Mészáros Ernő

az MTA rendes tagja,
MTA Veszprémi Akadémiai Bizottság
meszaroserno@invitel.hu

„Ébredő félben lévő nemzetünk előtt azonban csaknem egészen ismeretlenek ezek az eredmények; az időjárás törvényeivel polgári törvényei felett aggódó nemzetünk eddig elé semmit sem gondolt”
(Berde Áron, 1847)

Berde Áron 1819-ben Laborfalván (Háromszék) született. Kolozsváron hunyt el 1892-ben. Az egyik utolsó nagy magyar polihistor volt (Rudolf, 2008). Először természettudományokkal, elsősorban kémiával foglalkozott. 1942-ben tanulmányútra Berlinbe utazott, ahol, egyebek mellett, Heinrich Fritz Dove meteorológia-előadásait is hallgatta. Két év múlva hazatért, és 1844 és 1863 között a kolozsvári unitárius kollégiumban természettudományos tárgyakat oktatott. 1863 és 1872 között a kolozsvári jogakadémián már nemzetgazdaságtant és pénzügytant adott elő.¹ 1872-től a Kolozsvári Egyetem első rektora. Megnyitó beszédében hangzott el híres mon-

¹Ézert viseli a nevét a mai sepsiszentgyörgyi Közgazdasági és Közigazgatási Szakközépiskola.

dása: „az egyetemet nem a néma falai, hanem tanárainak szellemi ereje alapítja” (lásd Loszadi, 2004). A Magyar Tudományos Akadémia 1858-ban választotta levelező tagjai sorába, ahol Berde *A levegői nyirkosság némely égalji befolyása* címmel tartotta meg székfoglalóját (Markó et al., 2003). A székfoglaló szövege írásban is megjelent az *Akadémiai Értesítőben*, 1860-ban. Folyóirat-kiadói tevékenysége mellett könyvek írására is jutott ideje. Ez utóbbiak közül legfontosabb a légkörrel kapcsolatos *Légtüneménytan* című műve, amely 1847-ben látott napvilágot. Címlapján a szerző a természet- és vegytan rendes tanárának vallja magát. Könyvét Brassai Samunak, a szintén polihistor erdélyi akadémikusnak ajánlja. „E’ könyv első része a légtüneménytan jelen állását akarja megismertetni”, olvashatjuk az előszóban. A második és harmadik rész *A két Magyarhon égaljviszonyai ’s ezek befolyása a’ növényekre és állatokra* címet viseli. Az MTA a könyvet az 1845–1850 között megjelent egyik legértékesebb munkának minősítette, és Marczibányi-díjjal jutalmazta. Berde Áron életéről és

munkásságáról számos ismertetés született (lásd Rudolf, 2008). Ennek ellenére, e sorok írójának tudomása szerint, senki sem értékelte mai szemmel az említett könyvet, annak ellenére, hogy a magyar meteorológiai irodalom első alkotása. Jelen tanulmány célja, hogy a műre felhívja a figyelmet, és annak első részét (kötetét), mely a definíciókat és a fizikai elveket tartalmazza, a mai érdeklődők számára bemutassa. Ez a vállalkozás azonban nem csak a 19. századi légköri tudás megismerése szempontjából ígéretes. Legalább annyira érdekes a nyelvújítás utáni tudományos nyelv megismerése és elemzése szempontjából.

Mi a légtüneménytan?

Mind tartalmát, mind nyelvezetét tekintve, már a *Légtüneménytan* című könyv bevezetője (*Bévezető*) is elgondolkoztatja az olvasót. Berde (1847) a címszót a következő módon definiálja: „A’ levegő’ állapotja’ változásait, vagy a’ levegőben mutatkozó tüneményeket közönségesen légtüneményeknek (Meteoroknak) ’s az ezekkel foglalkozó tant légtüneménytannak (Meteorológiának) nevezik. A’ tünemények összesen, egymás utáni következtetések által az időjárást határozzák meg.” Ez az egyszerű, világos definíció természetesen helytálló. Feleslegesen elbonyolítja azonban a hozzá tartozó lábjegyzet: „Légtan és légkörten kifejezések Atmosphaerológiát jelentenek, mely tannak feladata: a’ légkör minden tulajdonságait (tehát a légsúlymérővel magosság mérését, csillagászati sugártörődést st. is) tárgyalni, mik a’ Meteorológiából kivannak zárva.” A lábjegyzet mai szemmel nézve teljesen felesleges, mivel ez utóbbiakat is a meteorológia részének tekintjük, és a légkörten szót nemcsak a szakemberek, hanem a nyelvészek is (Pusztai et al., 2003) a meteorológiával egyenértékű kifejezésnek tekintik.

Szintén a bevezetőben olvashatunk az *éghajlattan* és a meteorológia viszonyáról, amely a huszadik században a magyar szakemberek között annyi meddő vitát váltott ki. Az a kérdés, hogy két különböző tudományágról van-e szó már 1907-ben Róna Zsigmondnál megjelenik (Róna, 1907), aki különbséget tesz az „oknyomozó” meteorológia (Róna már a meteorológia szót használja) és a „leíró” klimatológia között, és kijelenti, hogy az utóbbi „a maga természeténél fogva rokonságban van a földrajzi disciplinával”. Berde válasza sokkal jobban közelít a mai állásponthoz: „a légtüneménytan szoros viszonyban van azontannal, mely célul tűzi ki magának: valamely egyes helységben a meleg eloszlását, a’ légtüneménytan mutatózó tüneményeinek viszonyait, a’ rendet melyek ezek az időjárás folyamában követnek, kinyomozni és meghatározni. Ezen tant égaljtannak (Klimatológiának) nevezik, mely mint része a’ légtüneménytannak a legszorosabb kapcsolatban áll ezzel”. Ma úgy mondjuk, hogy az éghajlattan és meteorológia között csak időléptékbeli különbség van, az éghajlat a rend a kaotikusan változó időjárásban. Érdekes, hogy Berde az „égaljtan” kifejezést használja a huszadik század elejére elterjedt „éghajlattan” helyett. A nyelvújítás korában keletkezett éghajlattan elterjedésének nyilvánvalóan az volt az oka, hogy jobban követte az eredeti görög „klíma” szót, amelynek „hajlani” az eredeti jelentése (Benkő et al., 1970), amely a korábbi „égnak hajlásából” keletkezett (Zaic, 2006).

A könyvet forgatva a mai olvasó számára feltűnő, hogy a szövegben mennyi hiányjel van, ami részben a határozott névelő mássalhangzók előtti változatából következik. Szembetűnőnek azok a szavak is, amelyeknek ma már más az értelmük, mint az idézetben a *meteorok*, illetve a *sugártörődés*, ami sugártör-

rest jelent. Ugyanakkor fel sem tűnnek azok a fontos kifejezések, amelyeket ma is használunk. Az idézetben három ilyen szó is szerepel. Az első kettő a *lég* és a *levegő*. A magyar nyelvben a *levegőt* valamikor az *ég* szó helyettesítette (Zaicz, 2006). Később, a megkülönböztetés érdekében, az *ég* a *levegő* (lebegő) jelzőt kapta. A nyelvújítás idején a *lég* szót a *levegő* éggösszevonással maga Kazinczy Ferenc alkotta meg. Bár ezt az eljárást Bárczi Géza (1975) a „legfurcsább szóalkotás módnak” nevezi,² a *lég* szó, legalábbis költői kifejezésként, azóta is fennmaradt, nem is beszélve összetételeiről: légnyomás, légtér, légzés stb.. Ugyanakkor a légtan kifejezés ma már nem fordul elő. Berde a *légtant* kiegészítette a *tűnemény* szóval, amely a mai *jelenségnek* felel meg. Tulajdonképpen helyesen járt el, de a kapott *légtűneménytan* túlságosan bonyolult sikerült, így nem honosodott meg. A *levegő* szavunkat viszont annak köszönhetjük, hogy Pázmány Péter 1636-ban egyik prédikációjában a *levegő* égg kifejezésből egyszerűen elhagyta az *ég* szót (Benkő et al., 1970), majd a nyelvújítás után a szó egyre inkább elterjedt, így bekerült Berde művébe is.

Hasonlóan a *légkör* is, amely a felvilágosodás terméke, és amit a görög *gőz* (*gáz*) és *gömb* szavakból képezték: *atmoszféra*. Nyelvünkbe a kifejezés német közvetítéssel jutott: *Luftkreise*, és, felhasználva a nyelvújítást, a *légkör* formát öltötte (Benkő et al., 1970). Az erdélyi szerző használja az *atmosphaerologia* kifejezést is, amely szintén bonyolult és nehézkes, magyarul nagyon rosszul hangzik, és a jelentése is homályos.³

² Így keletkezett például a *csőr* a *cső+orr* szavakból.

³ Érdekes, hogy több mint száz év múlva a magyar szakirodalomban felbukkan a hasonló *atmoszferogónia* szó, amin Aujeszky László (1957) a *légkör* keletkezésének tanát érti.

Légkör

A második fejezet a *Légkör* címet viseli, amely „Azon színhely, hól az időjárás folyamában a tűnemények mutatkoznak, a minket környező levegőtenger.” Arra a kérdésre, hogy „mi legyen ezen levegőtömeg”, Berde négy alkotót nevez meg: az oxigént (*oxygén*), a nitrogént (*azot*), a szén-dioxidot (*szénsavany*) és a vízgőzt, amelyek *mechanikai elegyületet* alkotnak, bár a változó koncentrációjú vízgőzt az első háromtól bizonyos mértékben elkülöníti. Ez azt jelenti, hogy a XIX. század közepén ismerték a *levegő* legfontosabb négy összetevőjét, de nem tudtak a nemesgázokról, valamint természetesen a több ezernyi nyomanyagról. Sőt ismeretes volt az oxigén és a nitrogén relatív mennyisége és az is, hogy arányuk állandó. Szerző egyértelműen kimondja: „A mondottak világosan mutatják alaptalanságát a régiek azon nézetének, mely szerint a *levegő* egyszerű, alkotó részekből nem álló testnek állítatot.” Az is nyilvánvaló számára, hogy „a *levegő* oxigénjének’ és *szénsavanyának* állandó mennyisége egymással összefüggésben van; ezen összefüggésben rejlik az ok, mely a *szénsavany* meggyüléseit megakadályozza, s a *föl* emésztett oxigént a *levegőnek* visszapótolja, s ezen ok a növény élet működésben van letéve.”

Berde a víz körforgalmát is helyesen jellemzi: „Az időjárásra nézve nagy jelentőségű a *levegőbeli vízgőz*, az említett légnemű alkotó részek azon változékony kísérője, mely a *hőmérték* változása szerint most folyó, majd szilárd állapotban, mint eső és hó, a földre le hull; majd gőz alakban megint felszáll a *levegőbe*, hogy a *levegő* minden víznemű tűneménynek származását és mennyiségét feltételezze...”. Sőt fontossága miatt kijelenti, hogy „atmosphäránk egy *légkörből* és egy

gőzkörből van össze állítva.” Majd: „A *levegő* nyomása tehát a *gőz*- és a *lég-kör* nyomásának összege.”

A könyv szövegéből kitűnik, hogy szerzője tudatában van annak, hogy a *levegő* nyomása fölfelé csökken, mégis beleesik abba a hibába, hogy becsléseket tesz a *levegő* magasságának „megfejtésére”. Ezzel utána is sokan megpróbálkoztak, de ma már nyilvánvaló, hogy a felfelé ritkuló *levegő* és a bolygóközi tér között folytonos az átmenet. A kérdéssel kapcsolatban viszont helyesen megjegyzi: „A *levegő* és a *föld* együtt teszik teljes egészség planétánkat.” Majd: „A *légkör*... földünk kiegészítő része, mely nélkül földünk egy kietlen földtömeggé válna, s rajta... életnek a legkisebb jele se mutatkozhatnék.”

Végül Berde a talán legfontosabb légköri optikai jelenséggel is tisztában van. Tudja, hogy az *ég* kék színét a *levegőnek* köszönhetjük: „ha a *levegő* hirtelen odalenne, az *ég* színét és fényét egyszerre elvesztené, és egy teljesen fekete boltnak mutatkoznék...”.

A nyelvújításban kicsit is járatos olvasó azt várná, hogy a *szerező* a *levegő* összetevőit a mesterségesen létrehozott elnevezésekkel illeti, mint ez más korabeli tudományos írásokban megtalálható (például Jedlik, 1990).⁴ Ez azonban nem így van. Nem használja sem az *éleny* (oxigén), sem a *légeny* (nitrogén) kifejezést. Ez arra utal, hogy ezek a szavak igazából nem honosodtak meg. Ugyanakkor érdekes, hogy a nitrogént a neolatin nyelvekben ma is szereplő *azot*-nak nevezi. Az oxigén (*savcsináló*) és a nitrogén (*lúgsóképző*) francia eredetű szavak, bár a nitrogén a franciában ma már nem használatos. Az angolba és a németbe a francia nyelvből kerültek. A ma

⁴ Jedlik Ányos 1847 és 1851 között írt kéziratát Liszi János rendezte sajtó alá.

gyarok a nitrogént a németektől vették át (Benkő et al., 1970; Zaicz, 2006), úgy tűnik a XIX. század második felében. Mindenesetre a XX. század elején a hazai meteorológusok már a nitrogén szót használták (Róna, 1907).

Hőmérték

Kezdjük mindjárt a fejezet címével. A *hőmérték* szó nyilvánvalóan hőmérsékletet jelent, méghozzá kifejezőbben, mint a szintén a nyelvújításnak köszönhető *hőmérséklet* szó, melyet Bugát Pál javasolt. Ez utóbbi a latin *tempero* mintájára készült (amelyből a *termometrum* származik). Eredeti jelentése *helyes mértékben kever*, illetve *mérsékel*, *enyhít*. Nyelvújításunk korában még az is felmerült (Benkő et al., 1970), hogy a hőmérséklet egyszerűen *mérséklet*-nek nevezzék. A hőmérséklet szó nem szerencsés, mivel a hőmérséklet egyáltalán nem mindig mérsékletes (temperált). Sajnos Berde szava a század második felében teljesen feledése merült,⁵ a Jedlik (1990) által javasolt *hővmérséklet*-tel együtt. Mint ahogy eltűnt Berde és Jedlik kifejezése, a *hővmérő* (hőmérő) is.

E nyelvi kitérő után vizsgáljuk meg, hogy miről olvashatunk a könyv *Hőmérték* című fejezetében. Az első kérdés, amit Berde felvet, a *levegő* hőjének eredete. Ezzel kapcsolatban először azt vizsgálja meg, hogy lehet-e a forrás a Föld saját hője. Helyesen megállapítja, hogy ez a hőmennyiség „... még egy lábnyi vastag, egész földet béborító jeget se volna képes megolvasztani, mi igen igen csekélység”.

⁵ Ilyen sajnálatos latin hagyaték a két különböző fogalmat jelentő *idő*, illetve az ebből származtatott *időjárás* szavunk. A *tempus* latinul mind az idő múlását, mind a légkör állapotát jelöli. A *járás* toldalék csak akkor oldja meg a problémát, ha, mint Berde teszi, a légkör állapotát folyamatában szemléljük. De akkor hogyan nevezük a pillanatnyi állapotot?

Majd hozzátesszi: „A föld felszínén elterjedő melegnek tehát más oknak kell alapul szolgálni, és ezen okot legtermészetesebben azon testbe kereshetjük, mely sugárai által világosságot bocsát földünknek, és melynek befolyását szám-talan tapasztalati tények hirdetik; t. i. a napban.” Ezt követően rámutat, hogy a levegő a napsugárzásból közvetlenül kevés hőt kap: „... átlátszó levegőnk a nap sugaraitól közvetlen, igen kevés meleget kap; hanem a föld színe a közvetítő.” Ebből következik, állapítja meg, hogy „... a levegő hőmértékének annál kisebbnek kell lennie, minél távolabb távozunk a felszíntől”. Mindkét megállapítás helyes. A levegő, mai tudásunk szerint, a Nap energiájának mindössze 20%-át nyeli el. Ugyanakkor, és ezt már a könyvben olvashatjuk: „... a levegő nagyon rosszul bocsátja át a meleget”, azaz a föld kisugárzása számára egyáltalán nem átlátszó. Ezt a tényt ma üveg-házhatásnak nevezzük. Elismerésre méltó, hogy Berde az üveg-házhatást felismeri, annak ellenére, hogy a kifejezést nem használja.

Helyesen fejt ki, hogy a felszínen elszórt hőmennyiség a napmagasságtól és a besugárzás idejétől, valamint a felszín állapotától függ. Az utóbbival kapcsolatban az ember éghajlat-módosító hatását is felveti: „... a hőmértéknek évi korszakbani eloszlása, a föld művelése, erdők kiirtása, és mocsárok kiszáritása által lényeges módosulást nyer”.

Berde a fejezetben részletesen tárgyalja a hőmérséklet mérésének módjait, a különböző hőmérsékleti skálákat, valamint a középérték számítását és szerepét adott hely éghajlatának jellemzésében. Négyoldalas táblázatban mutatja be különböző helyek évi és évszakos hőmérsékleti középértékét.⁶ A táblázat érdekessége, hogy az állomások földrajzi

⁶ Érdekesség: a könyvben nincs ábra.

hosszúsága Párizstól és nem Greenwich-től számítódik. Másrészt a magasság párizsi láb-ban van megadva.

A befejező részt a szerző a hőmérséklet magasság szerinti változásának szenteli. Megemlíti, „Hogy a hőmérték felfelé haladva lassanként apad, senki világosabban nem tapasztalta, mint Gay–Lussac, ki midőn 1805-ben September 24-kén Páris felett léghajón felszállott, az alatt 22,2 Cels. szerinti fokokat mutató hévmérőt 21,480 lábnyi magasban – 7,6°-ra csökkeni látta.” Majd felveti a kérdést, hogy „... mennyire fel kell hágnunk, hogy a hévmérő 1°-t szálljon...” (az *emelkedni* szó helyett: *hágni*). Különböző szerzőket idéz, akik hegyekben mérték a hőmérséklet függőleges változását. A mért értékek egyáltalán nem meglepően, elég változatosak: 346 láb és 576 láb között változnak. 500 lábat elfogadva, és a láb értékét 0,3248 m-nek (francia láb) véve, a változásra 0,62°/100m adódik, ami jól közelíti a ma elfogadott 0,65°/100m-es átlagos értéket. A fejezet végül kiterjed, mai szemmel kissé meglepő módon (ma ez a kérdés nem a meteorológia feladata), a hőmérséklet talajszint alatti változására. Ez az okfejtés *A külföldi hőmértéke* címet viseli, mivel a méréseket kutakban és pincékben mérték. Itt arra a kérdésre keresi a választ, hogy mekkora az a felszíni réteg, amelyet a napenergia felmelegít. Ennek kapcsán megállapítja, hogy „A levegő változásaitól ment föld rétegen alóli hova tovább mind inkább növekvő hőmértéket találunk”, valamint, jelentőségét tekintve: „Valójában csodálandó a teremtő bölcsessége, mely a kutak hőmértékét nem engedte a levegővel együtt változni”.

Szelek

„A levegőbeli tünemények közt legingadékosabb és előttünk legféltelenebb és zavartabb-

nak tetsző a szél nevezet alatt ismeretes folyása levegőnknek”. Ezzel a megállapítással indítja Berde Áron könyvének harmadik fejezetét, és azonnal felveti a kérdést, hogy milyen ok váltja ki a levegő folyását (mai szóval áramlását). A válasz: „a melegnek földünkön eloszlása”. Leszögezi: „Hogy az ok, mely a szeleknek, mint szinte minden levegői tüneményeknek alapul szolgál, a meleg legyen, az nem pusztán képzelet, hanem alapos tapasztalásokból kifejtett igazság...”. Majd lentebb: „Alig van a természet tannak a közönséges élet által is inkább ismert törvénye, mint az, hogy meleg által minden testek kiterjednek, hideg által pedig össze vonulnak”. Azzal a megállapítással, hogy a szelet közvetve a meleg eloszlása okozza, természetesen egyetértünk. Ugyanakkor ma már azt mondjuk, hogy a légáramlásokat azok a nyomásváltozások okozzák, amelyeket a meleg egyenlőtlen eloszlása vált ki. Mai meteorológiai kézikönyvekben ezért a hőmérséklet után a légnyomást tárgyalják, és a szelek taglalására csak utána kerül sor. Az áramlásokat leíró mozgásegyenletekben ugyanis nem a hőmérséklet, hanem a nyomás (pontosabban nyomáskülönbség szerepel). Ezzel szemben Berde a harmadik fejezetet a szeleknek szenteli, és csak a hatodik fejezetben foglalkozik a légnyomással.

Azt helyesen látja, hogy a meleg levegő felszáll és szétterül, és helyére a felszín közelében hidegebb levegő áramlik. „Hol a földszíne több meleget fogad bé, ott a levegő is inkább melegebb és elő áll a levegőben a fenébbi műfolyam, az az: a föld által melegebb levegőrétegek kiterjedvén, felhágnak, és így származik az ugynevezett felhágó légfolyam”. A XIX. században azonban egy cellás általános cirkulációt tételeztek fel: az Egyenlítőnél a meleg levegő felszáll, a magasban a sarkok felé áramlik (déli nyugati passzát), ott lesüllyed,

és hideg levegő nyomul be az Egyenlítő fölötti területekre (északkeleti passzát). Természetesen Berde is ezt az elképzelést vázolja fel. Az már viszont érdekes, hogy nem ismeri az eltérítő erőt, amelyet Gaspard–Gustave Coriolis 1835-ben írt le (Mészáros, 2008). Így az áramlások eltérülését az észak–dél iránytól azzal magyarázza, hogy a levegő együtt forog a Földdel, holott az eltérülést éppen az okozza, hogy a levegő nem forog együtt a Földdel, és a felszíni megfigyelő (a felszínhez rögzített koordináta-rendszerben) azt észleli, hogy a szél jobbra fordul (északi félgömb). Ebből következik, hogy szerzőnk magyarázata közel sem sikeres. Hasonlóan nehezen követhető a közepes szélességek szeleinek magyarázata: „Ezen délnyugati passzát reánk nézve kiváltképpen nevezetes, mert ebben fekszik Európa, de az egész mérséklet égő saját jellemet nyer, mint-hogy ezen délnyugati áramlás az északkeleti-nek utjába áll, és a kettő közt viaskodás áll elő, melyek most egy, majd más színhelyet választanak; néha egymás mellett folynak, és mindenik csak egyedül uralkodik, többnyire pedig hegyesebb vagy tompább szeglet alatt találkozáván különböző szeleket keltenek fel...” Ugyanakkor helyesen írja le a szárazföldi és tengeri, a hegy-völgyi és monszun (*musson*) szeleket.

A szeleket, mint említettük, a felszín különböző felmelegedése váltja ki. Berde a kérdést meg is fordítja. Több helyre (London, Párizs, Buda, Moszkva) vizsgálja a hőmérsékleti szélrózsát, azaz a közepes hőmérséklet eloszlását különböző irányú szelek esetén. Így egyik táblázatból megtudhatjuk, hogy Budán évi átlagban a legmagasabb hőmérséklet (11,88°) délnyugati, a legalacsonyabb északi (8,33°) szelek esetén fordul elő, ami mai szemmel kissé triviálisnak tűnik.

Viznemű tünemények

A víz légköri körforgalma okozza a leglátványosabb jelenségeket, tüneményeket. Berde ezt mindjárt a negyedik fejezet első bekezdésében érzékelteti: „...a száraz levegőnek, mind alakjára, mind pedig mennyiségére nézve igen változékony követője a vízgőz, mely hatalmát az időjárási tüneményekben annyira kitünteti, hogy az atmoszféra névét is ettől származtatták a régiek, sőt még ma is a közönséges életben az időjárás nevezet alatt, inkább csak az ezen osztályba tartozó tüneményeket értik”. Ehhez magyarázatul a következő bekezdésben hozzát teszi, hogy a természetvizsgálók számára „...a köd, felhő nem tiszta gőz, hanem megsűrűdött gőz...”. Továbbá „...a levegő annál tisztább, minél kevesebb megsűrűdött gőzt foglal magában...”.

Majd néhány sorral alább költői ihletéssel leszögezi: „...mint a többi légtünemények, ezek is a meleg tüneményeire építvék; mi újabb bizonyítványul szolgál arra, hogy a teremtoi bölcsesség, mint minden műveiben, a légtüneményekben is bölcs takarékosággal lehelte bé az okokat, ne hogy a szép egyszerűség bonyolított műnek essék áldozatul”.

A felhők és ködök keletkezését a mű szerzője világosan látja: „...a vízgőzmennyiség, melyet bizonyos mennyiségű levegő magába felvehet, különböző; s jelesen függ a levegő hőmértékétől”. Így a levegő, hőmértékétől függően csak annyi vízgőzt vehet fel, amennyit a hőmérséklete megenged „...és ha ez megtörtént azt mondjuk, hogy a levegő megelégtült, és ezen túl az elgőzölgés teljesen megszűnik”. A szövegből kitűnik, hogy a párolgást a XIX. század közepén az *elgőzölgés*, a telítettséget a *megelégtülés* szóval jelölték. A nedvesség mérésének (*nedvmérők*) és mérőszámainak (*valódi*, illetve *viszonylagos nedváll-*

pot) leírása után, a harmat és dér, valamint a ködök és felhők keletkezéséről olvashatunk. A harmat és a dér a hideg felszín és a melegebb levegő hőmérséklet-különbségének köszönhető, foglalja össze az okokat Berde. A dér megfagyott harmat, mondja, „mint ezt a hó harmat elnevezés elég jellemzően kifejezi”.

Majd így folytatja: „Ha a vízgőz megsűrűdését nem a hideg földeli érintkezés, hanem két különböző hőmértékű nedves levegő elegyülése eszközli, származik a köd és felleg; azon két tünemény, melyek csak helyzetük és nem természeti belső tulajdonságoknál fogva érdemlik meg egymástól megkülönböztető nevüket”. Ez részben helyes, ugyanakkor tudnunk kell, hogy a felleg elsősorban feláramló levegőben keletkezik. A szerző erről azonban csak a hegyekkel (akadályokkal) kapcsolatban beszél. Ez nem is csoda, hiszen az egyéb, sokkal fontosabb feláramlások (például időjárási frontokon) a könyv írásakor ismeretlenek voltak. Mint ahogy ismeretlen volt az is, hogy a *megsűrűsödés* (ma úgy mondanánk: *kondenzáció*) aeroszol-részecskéken, kondenzációs magvakon megy végbe.

A szövegből is kitűnik, hogy ebben az időben már megpróbálkoztak a felhők osztályozásával is. Megkülönböztettek *rojtos felleget* (magas fátyolfelhő: cirrus), *tornyos felleget* (gomolyfelhő: cumulus) és *réteges felleget* (stratus), illetve ezek néhány kombinációját, így például *bárány felleget* (cirrocumulus). A megkülönböztetésben – helyesen – a felhő alakja és jellege játszott fontos szerepet.

Érdekes kérdés, hogy vajon mit gondoltak a csapadékképződésről a XIX. század közepén, mi a különbség felhő és csapadék között? A válasz a következő: „A felleg nem egyéb, mint finom eső, melynek kicsi gőzgolyócskái nem eshetnek a földre, minthogy a levegő alsóbb rétegeiben felszáradnak és elenyésznek”. Eb-

ben a megállapításban megint az a probléma, hogy javasolja nem számol a légköri feláramlásokkal, amelyek a felhőket a magasban tartják. Azonkívül megkerüli a kulcskérdést: miért kezdenek el hullni a *gőzgolyócskák*? Nyilván azért, mert megnőnek. De hogyan? Erről a kérdéstről a könyvben egyáltalán nincs szó. Ugyanakkor Berde elismeri, hogy az esőcseppek nagyobbak, mint a felhőcseppek. „E szerént az eső nem egyéb, mint magos, földig érő felleg, mely alatt cseppei nagyultsága s kisebb száma miatt átlátszóbb, mint fenn” (itt már a csepp szó szerepel). Ha már viszont hullnak lefelé az esőcseppek: „...a levegő magosabb s egyszersmind hidegebb tájairól jöven, szükségképpen hidegebb hőmérsékletűeknek kell lenniük, mint minő azon réteg, melybe érkeznek, miért amazok ezt meghűtvén, az itteni vízgőz megsűrűdve az esőcseppekre rátelepedik”. Mai szavakkal ezt úgy mondanánk, hogy az esőcseppek esésük során kondenzációval növekednek tovább. A kondenzációs növekedés sebessége azonban fordítottan arányos a cseppnagysággal, ezért ez elképzelhetetlen. A növekedés oka a cseppek ütközése: a nagyobb cseppek esésük során elérik a kisebbeket, amelyek tehetetlenségük miatt a nagyobb cseppekbe ütköznek. Az ütközéses növekedés elméletét Berde könyvének megjelenése után száz évvel dolgozták ki (lásd Mészáros, 2008), így nem meglepő, hogy nem említi. Ugyanakkor Berde úgy gondolta, hogy az általa javasolt folyamat a felhőalap alatt is folytatódik.

A fejezetben kevés utalást találunk a jég- és hókristályokra. Ezen megintcsak nincs mit csodálkoznunk. A jégkristályok keletkezésének és formájának tanulmányozása Descartes korai munkái után (Mészáros, 2008), a huszadik század elején indult, nagy részben Alfred Wegener grönlandi kutatásaival (Wegener,

1911). A német szerző mutatott rá elsőnek a jégkristályok csapadékképződésben játszott szerepére is. Berde úgy gondolhatta, hogy amiről nem tud, arról jobb, ha nem nyilatkozik. Ez alól kivétel a jégeső keletkezése, amelynek nagy figyelmet szentel: „Az időjárás folyamában alig van tünemény, melynek hatása a közéletben nagyobb érdekű volna, mint a jégeső”. Keletkezésének okát abban látja, hogy „...két különböző hőmértékű légtömeg hirtelen elegyül, azon tájék annyira lehül, hogy a benne lévő vízgőz megfagy, s ezáltal a jégszármaszás megindul a mennyiben hópelyhek képződnek”. A hulló hópelyhek a *felhőgőz légfolyammal* találkoznak (ebben a kérdésben a feláramlásokról is szó van), ezért forgószél keletkezik, amely „...a kezdetben képződött hópelyheket ide s tova forgatván, összegomolyítja, mit aztán a megsűrűsödött vízgőz összetapaszt”. Tökéletesen egyetértünk azzal, hogy a jégeső keletkezésében a felhőelemek *összetapasztása* nagy szerepet játszik. Ehhez azonban nem kell forgószél, mivel a hulló jégszemek a túlült vízcseppeket (és általában nem a hókristályokat) esésük során gyűjtik össze. Az erdélyi tudós helyesen szögezi le (kommentár nélkül): „Azon tapasztalás, hogy nagy jégesők alkalmával éghabórú is mutatkozik, azon nézetet szülte, miszerint a jégeső a villanyosság szüleményének volna tekintendő. Ezen nézet pártolói jégmentőket is gondoltak ki, melyek a mezőgazdákat a jégeső ellen lettek volna biztosítandók; minek azonban soha meg nem felelhetek, minthogy a villanyosság a jégeső szármaszásának nem oka, hanem következménye, mint ezt mindjárt bővebben kifejtendjük.”

Légköri villany

A villany a nyelvújítás alatt az elektromosság magyar kifejezésére készült. A szó a 19. század

második felében azonban tudományos értelemben feledésbe merült. Mindenesetre a 20. század elején Bozóky Endre (1901) *Kís meteorológia* című kötetében már az *elektromosság* kifejezést használja. A villanyt a villám szó töve felhasználásával alkották meg. A két szó azonban nem csak nyelviileg függ össze. Mint Berde megállapítja: „...a villám természetéről csak akkor lehet alaposabban gondolkodni, mi után a villanyt némely földi tárgyakban felfedezték”. A villany és a villám közti analógia bizonyítása után (Benjamin Franklin kísérlete) a természetvizsgálók „...úgy tekintették az általuk elő állított villamos tüne-
ményt, mint kisszerű utánozását a természetben elő forduló nagyszerű égháborúnak...”

Berde helyesen állapítja meg: „...hogy légkörünkben soha sem hiányzik a villany...”. A probléma csak az, hogy nem mondja meg pontosan, hogy mit ért *villany* alatt. Az elektromos térerőt, a töltéssűrűséget, vagy valami mást? Sajnos ez világosan nem derül ki. A továbbiakból viszont kiderül, hogy a légköri elektromosság magyarázatára milyen elképzelések szolgáltak. Ezek a magyarázatok nyilván nem lehettek helyesek, mivel a radioaktivitást⁷ csak jóval a könyv megjelenése után fedezték föl. Mindenesetre, a könyv szerint, az elektromosság oka a víz párolgása: „...idegen anyagokkal elegyült víz elgőzölgése által sok villanyosság fejlik ki...”: a levegő pozitív, a felszín negatív töltésűvé válik. Másik lehetőség: „...az égés és a növénytenyésztés a légköri villanynak a kútfejei...” Nevezetesen, az égéskor keletkező, illetve a növények által kibocsátott *szénsavany* pozitív villamos töltésű (a szöveg szerint ezt Claude Servais Mathias Pouillet francia fizikus kísérletileg igazolta).

⁷ Szép időben a levegő elektromosságát a Föld radioaktív kisugárzása okozza, amely ionizálja a molekulákat.

Berde a továbbiakban felveti a kérdést: „...hol van a fellegekben a villany?” A felhők felszínén, avagy az elektromosságot a cseppek hordozzák? A második lehetőség mellett tör lándzsát, majd megállapítja, hogy „...a felleg annál villamosabb, minél élénkebb a fellegképződés, és égháborús felleggé azáltal válik, ha a fellegképződés hirtelen történik”. Mivel a felhők képződés és esőképződés egymástól nem különböznek, minél intenzívebb az esőképződés, annál erősebb a villamos feszültség. A mai olvasó szinte bánja, hogy a zivatar szó kiszorította az égháborút.

„Az égháborút kiváltképpen két tüne-
mény jellemzi, t. i. a villám és dörgés, melyek az emberi figyelmet magukra vonják és az eszt nyomozásukra mintegy ösztönzik”. Ha „...a légköri villany sebessen nő; és midőn elég erőre kapott, villámszokra pattan ki a levegőből, melyet villámnak nevezünk. [...] Ha a villám... egészen a földig hat, akkor menykő nevet kap”. Másrészt: „Villámlás alkalmával, mint általában minden villany kisülésnél, rendszeren bizonyos zúgás hallatszik, mit közönségesen dörgésnek nevezünk”. Végül Berde arra is kitér, hogy a villám és a dörgés között időeltolódást észlelünk, mivel „a hang lassabban halad, mint a viláosság”.

Légnyomás

„Köztudaton lévő dolog, hogy a levegő súlyánál fogva minden földi tárgyra bizonyos nyomást gyakorol, mely akkora, hogy mintegy 28 hüvelynyi magos kénese-
oszlopot képes súlyegyenben tartani” hangzik a hatodik fejezet első mondata. Ebben a teljesen igaz megállapításban több érdekesség van. Az első a *kénese* szó, amely a higanyt helyettesíti. Ez azért érdekes, mivel a nyelvújítás alkalmával a híg és arany szavakból képzett higany a XIX. század közepén már elterjedt szó volt

(lásd Jedlik, 1990), sőt később maga Berde is használja. Sőt a higany azon tudományos kifejezések közé tartozik, amelyek máig fennmaradtak. A következő, hogy a higanyoszlop magassága hüvelykben van kifejezve (később vonalban: 12 vonal=1 hüvelyk). Amennyiben 1 hüvelykre 2,54 cm-t fogadunk el, a megadott érték 711 Hgmm-nek felel meg, amelyet a mai olvasó kissé alacsonynak talál (az elfogadott átlagérték tengerszinten kerekén 760 Hgmm).⁸ Végül a mai egyensúlyt a szerző *subgyegen*-nek nevezi annak ellenére, hogy a szó ma is használatos formáját már a nyelvújítás korában megalkották (Benkő et al., 1970).

A légnyomás mérésére a *légsúlymérő* (barometer) szolgál. „Már a légsúlymérő első használatakor észrevették, hogy a higany magassága nem mindenkor egyenlő és változása az időjárással összefügg”. Nevezetesen: „...a légsúlymérő általában hág, midőn a hőmérséklet csökken, és megfordítva...”. Így: „...a légnyomás változásaiban fő szerepet a meleg jádzik...”. A légnyomás a magassággal csökken, ezért a mérési értékeket mindig tengerszintre kell vonatkoztatni („...mindig vissza kell vinni a légsúlymérő tengerszínénél állására...”), valamint a méréseket a hőmérséklet értékével korrigálni kell. Ez utóbbi módját részletesen bemutatja, de csak említi a tengerszintre való átszámítás szükségességét.

Berde említi az azonos légnyomású helyeket összekötő izobárokat (*egyenlő légsúlymérői vonalakat*), de nem beszél arról, hogy eloszlásuk a légáramlás jellegére jellemző, és az időjárás előrejelzésére is felhasználható. A légnyomás változását azonban adott helyen össze-

⁸ Az eltérés oka talán a tengerszintre való átszámolásban van. Halley, aki az átszámításhoz szükséges ún. *barometrikus magassági formulát* első formájában 1686-ban levezette, a tengerszinti átlagos légnyomásra a helyes 30 hüvelyket adja meg (lásd Berberan-Santos et al., 1997).

köti az időjárás alakulásával. Például: „...a légsúlymérőnek ilyenkor hágásából biztosan lehet következtetni, hogy az égháború ereje hanyatlásnak indult...”. Vagy: „...tartós eső idejében a légsúlymérő rendes állásánál jóval (általában két vonallal) alább száll...”.

Viszonylag részletesen tárgyalja a *légsúlymérői szélrózsát*, azaz a légnyomás függését a szelek irányától, bár megjegyzi, hogy „...a szelek iránya csak a hőmértékre való befolyás által hat a légnyomás ingadozásaira”. Ennek keretében kitér arra, hogy a különböző irányú légáramlások esetén megfigyelhető esőzés milyen nyomásváltozással jár.

Szerző érdekes módon a légnyomást tárgyaló fejezethez csatolja az *Idegen eredetű lég-tünetemények* tárgyalását, beleértve a meteor-köveket, a hullócsillagokat, az északi fényt és földmágnességet (és kapcsolatát a hőmérséklettel). Ebben a részben bolygónk (*földplanétánk*) állapotáról is tesz néhány érdekes megjegyzést. Vajon kezdetben a Föld *jégtömeg* volt, vagy tüzes golyó, melynek felszíne a sugárzás hatására megkeményedett, veti föl egyebek között a kérdést. Az utóbbi nézetet fogadja el. Javasolóját, Joseph Fourier-t idézve megállapítja: „Naprendszerünk a mindenségben oly helyet foglal el, melynek minden pontjai állandó hőmérséklettel bírnak, melyet a csillagok által kisugárzott viláosság- és melegsugárok határoznak meg”. Következtetése: „A föld tehát mind visszaadja a világ-ürnek azon melet, mit a naptól kap...”.

Végül felveti a ma is sokakat érdeklő kérdést: „Vajon a földéletet fenyegeti-e rosszabbulás? [...] Nem gondolható-e hogy [...] a mulékony változásokon kívül, a melegkifejlésben hosszabb korszakok alatt növekedés és csökkenés áll elő; hogy évszázadok teltével Helios is megvényül...?” A mai válasz: elgondolható, csak sokkal hosszabb időléptékben.

Befejezés

Berde Áron *Légtüneménytan* című munkája a magyar tudomány történetének jelentős értéke. Nem is fejezhetnénk be méltóbban ezt az ismertetést, minthogy idézzük az opus bevezetésének utolsó bekezdését, melyben a Nagy Előd a hitvallását foglalja össze, és egyben üzenetet küld utódai számára: „*Ezért a tudomány, mely az időjárás tüneményeiben rejlt törvényt igyekszik szellemünk öntudatára hozni, mely a levegői állapot nagy változásából*

az állandót, a tetszőleges önkényességből, a törvényt fejt ki, szellemi munkálkodásunknak igen méltó tárgya”. *Megszívlelendő testamentum a jelen és jövő légkörkutatóimnak.*

Köszönetet mondok Puskás Mártának (Országos Meteorológiai Szolgálat Könyvtára), aki a könyvet digitalizálta, és rendelkezésemre bocsátotta.

Kulcsszavak: Berde Áron, légtüneménytan, meteorológia-történet, tudományos nyelv

IRODALOM

- Aujeszký László (1957): *A légkör fizikája*. Akadémiai, Bp.
 Bárczi Géza (1975): *A magyar nyelv életrajza* (3. kiadás). Gondolat, Budapest
 Benkő Loránd – Kiss Lajos – Papp László (szerk.) (1970, 1976, 1984): *A magyar nyelv történeti-etimológiai szótára* I–III. Akadémiai, Budapest
 Berberan-Santos, Mário N. – Bodunov, E. N. – Pogliani, L. (1997): On the Barometric Formula. *American Journal of Physics*, 65, 404–412.
 Berde Áron (1847): *Légtüneménytan s a két Magyarhon éghajlászonyai ezek befolyása a növényekre és állatokra*. özv. Barráné és Stein, Kolozsvár
 Bozóky Endre (1901): *Kis meteorológia*. Stampel Károly, Pozsony–Budapest
 Jedlik Ányos (1990): *Hőtan*. Műszaki, Budapest
 Loszádi Károly (2004): *Az erdélyi magyar universitas*. Szabad Tér, Budapest

- Markó László – Burucs K. – Balogh M. – Hay D. (2003): *A Magyar Tudományos Akadémia tagjai* 1. MTA Társadalomkutató Központ–Tudománytár, Bp.
 Mészáros Ernő (2008): *A levegő megismerésének története*. MTA Történettudományi Intézet, Budapest
 Pusztai Ferenc – Gerstner K. – Juhász J. – Kemény G. – Szőke I. – Váradi T. (szerk.) (2003): *Magyar értelmező kéziszótár*. (2. kiadás) Akadémiai, Budapest
 Róna Zsigmond (1907): *Éghajlat* 1. K. M. Természettudományi Társulat, Budapest
 Rudolf Béla (2008): *Egy erdélyi polihisztor*: Berde Áron. *Természet Világa*, 139, 7.
 Wegener, Alfred (1911): *Thermodynamik der Atmosphäre*. Barth, Leipzig
 Zaicz Gábor (szerk.) (2006) *Etimológiai szótár. Magyar szavak és toldalékok eredete*. Tinta Könyvkiadó, Bp.



MUNKÁRA FOGOTT KVANTUMMECHANIKA

Domokos Péter

az MTA levelező tagja, tudományos tanácsadó,
 MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtest-fizikai és Optikai Intézet
 domokos.peter@wigner.mta.hu

A 2012. évi fizikai Nobel-díjat a francia Serge Haroche és az egyesült államokbeli David Wineland kapták kísérleti fizikai módszereikért, amelyekkel áttörést értek el egyedi kvantumrendszerek mérésében és manipulálásában. Kísérleteikben a kvantummechanika egyes alapvető tételeit igazolták. Meglepő, hogy erre hét évtizedet kellett várni, miközben a 20. században a modern fizika kvantumelméletből kiinduló diadalmenetének lehettünk tanúi. A következőkben megpróbáljuk pontosabban meghatározni, hogy milyen nehézségeket kellett legyőzni az egyedi kvantumobjektumokkal való kísérletezéshez, és most, az áttörést hozó módszerekkel milyen új továbblépési irányok nyílnak meg.

Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr és Louis de Broglie heurisztikus ötletei nyomán született meg a kvantummechanika, amelynek szigorú elméleti alapjait néhány 1925–26-ban megjelent publikációban, elsősorban Werner Heisenberg és Erwin Schrödinger fektették le (Heisenberg, 1925; Born – Jordan, 1925; Born et al., 1925; Schrödinger, 1926). Ezt követően döbbenetes gyorsasággal, néhány év leforgása alatt kibontakozott az az elmélet, amely máig meghatározta a modern fizika fő irányait. A gyökeresen új fogalomrendszer alapján kialakult az atom-, molekula- és szilárdtestfizika, illetve nagy energiákon a részecs-

ke- és magfizika. Ezzel együtt a mindennapi életünket meghatározó eszközök sokasága fejlődött ki, amelyek működésének alapos megértése csak a kvantumelmélet alapján lehetséges. A korai időszakból nagy jelentőségű példát szolgáltatnak a szabályozott maghasadáson alapuló nukleáris erőművek. A nukleáris technológia későbbi, immár orvosi alkalmazása a pozitronemissziós tomográf. Az atomfizikának köszönhetjük a lézereket, illetve a szilárdtestfizika termékei a megapixel-es CCD-kamerák és a LED-es égők. A modern fizikában járatosabbak kedvéért érdemes felidézni, hogy nagyobbfajta NMR-eszközökben szupravezető mágnissel keltik a mágneses teret, a keletkező spinrezonanciajelet feldolgozó tomografikus képalkotáshoz, a kiértékeléshez pedig a félvezető-fizikán alapuló számítógépeket használnak. Ezek a modern szilárdtestfizika egyetemi tananyagba épült prominens fogalmai.

A széles körű alkalmazhatóság és a sikeresen kifejlesztett eszközök persze már régóta elfogadtatták velünk a kvantummechanika elméletét. Maradt azonban egy sajátos, nyugtalanító hiányosság, amely a fizika korábbi elméleteire nem volt jellemző. Éppen az alapvető jelenségek ellenőrzésére kigondolt legegyszerűbb kísérleti sémákat nem lehetett a gya-