

A felhők megmaradása.

E sorok fölé ezt a kevésbé tudományos czímet is írhattuk volna, hogy: »*A felhők élete*«. Mert a felhőknek, a változandóság eme jelképes tárgyainak, szintén megvan a maguk élete; megszületnek, midőn a légkör gőzei lecsapódnak; e pillanattól kezdve élnek, azaz, úgy a hogy megmaradnak, míg el nem enyésznek, mikor is vagy eső, vagy más légköri csapadék alakjában a földre hullanak, vagy pedig melegebb, szárazabb légáramban ismét gőzökké oldódnak fel. A felhőknek eme három fázisát még mindig elég sűrű homály borítja, pedig a természetvizsgálás kezdete óta egészen a legújabb időkig a buvárok egész serege foglalkozott a felhőkkel, és így a homályt bizonyára nem a tárgy mellőzésének, hanem inkább kényes természetének kell betudni.

Nagyon sajátzerűnek látszik, hogy épen azok a jelenségek, melyeket a természet úgyszólván minden nap elénk tár, melyeknek megfigyelésére tehát bő alkalom kínálkozik, okaikat és lefolyásuk egyes fázisait tekintve, a leghomályosabbak előttünk. Így a légkör összes vízjelenségeiről és elektromos tüneményeiről aránylag igen kevés bizonyosat tudunk: ellenben vannak aránylag igen bonyolódott elektromos és fényjelenségek, melyeket maga a szabad természet — legalább közvetlenül — soha sem tár elénk, és azért törvényeiket mégis egészen biztosan ismerjük. A dolog sajátzerűsége azonban azonnal eltűnik, ha meggondoljuk, hogy az ilyes mindennapi jelenségek épen csak mindennapiságuknál fogva látszanak egyszerűeknek, holott a valóságban nagyon is bonyolódottak, azaz lefolyásuk számos olyan együtt-

hatótól függ, melyet vagy épen nem, vagy csak igen nehezen tarthatunk számon.

A mi a felhőknek bizonyos ideig való megmaradását illeti, ez egyike az aránylag legjobban megoldott idetartozó feladatoknak. A kérdés tulajdonképen úgy hangzik, hogy mi az oka, hogy a ködöket és a felhőket alkotó vízcsepkek nem hullanak le keletkezésük után azonnal a földre, a mikor pedig a víz, ott a hol a felhők járnak, egyre-másra 1000-szer sűrűbb a levegőnél, és e mellett a levegő a mozgást gátló közönséges közegek között az, a melyek a legkisebb ellenállást fejt ki. Nevezetes, hogy a figyelembe vehető megoldások közül épen azok részesültek közelismerésben, és a tankönyvek és népszerű tárgyalások révén épen azoknak van szinte hagyományos elterjedésük, melyeknek a jobb megoldással szemben legott háttérbe kellett volna szorulniuk.

A legrégebb hipotézis a *vizhólyagocskák hipotézise*, és eredetét valószínűleg annak a tapasztalásnak köszönheti, hogy a szappanbuborék fölemelkedni törekszik.* Sokan vélték, hogy így a köd és a felhők felszállása és lebegése megmagyarázható, de e mellett nem ügyeltek arra, hogy a mikor a kisebb nehézséget kikerülték, nekimentek egy nagyobb nehézségnek: annak a kérdésnek, hogy a hólyagocskák mi módon keletkeznek. E hipotézis hívei közül felemlítendő Halley, Leibniz, Wolff, Saussure, Berzelius, Fresnel,

* Ennek oka a tüdőből a buborékba fújt meleg levegő. Ha ez a levegő kihül, a szappanbuborék is leszáll, és pedig aránylag igen gyorsan.

Mitscherlich és Clausius, bár ez utóbbi a hipotézis ellen intézett kemény támadások után maga sem látszott arra valami különös súlyt helyezni. Valóban, az úgy már a régebbi időkben mint az újabbakban felhozott ellenvetések, melyek nemcsak közvetlen kísérletekre és megfigyelésekre, hanem elméleti okokra is támaszkodnak, a hűlyagocskák hipotézisét, mely a felhők megmaradásának kérdését különben is csak nagyon hézagosan oldja meg, teljesen tarthatatlanná tették.*

E kérdés, melynek immár valóságos vízceppceszkékkel kell számolnia, még fontosabbá lön azon nagyon is valószínű körülménynél fogva, hogy kísérleti megállapítások szerint közönséges telített gőzökből csak akkor válhatnak ki cseppfolyós részecskék, ha a gőzökben bizonyos szilárd magvak, vagy, mondjuk mindjárt, porszemek vannak jelen. A i t k e n és R. v. H e l m h o l t z kísérleteiből kiderült, hogy a vízgőzből sűrűbb és finomabb ködök képződnek, ha a levegőben nagyobb számmal vannak a szilárd részecskék jelen, és nagyobb szemű ködök, sőt esőcseppceskék jönnek létre, ha a szilárd részek száma csekélyebb. Sőt A i t k e n a maga kísérleteiből azt következteti, hogy ha a levegő teljesen portalan volna, felhők és ködök egyáltalában nem keletkeznének és ennél fogva eső sem esnék, és a levegő csak oly módon szabadulhatna meg az ő fölös gőztartalmától, hogy a gőzök a föld színén levő tárgyakra közvetlenül lecsapódnának.**

* E hipotézis történetét tüzetesen tárgyalja O. L e h m a n n, »Molekularphysik«, Lipsce, 1889, II. 154—165.

** L e h m a n n i. m. II. 167. — M a x w e l l, »Theorie d. Wärme«, 282. — A i t k e n szerint az 1 cm^3 levegőben levő szilárd részecskék száma, a levegő tisztaságához képest, 32,000 és 5,420,000 között változik; legújabb, a Rigi-n tett vizsgálatai (1891) szerint a porrészecskék száma a felhőkben változó ugyan, de mindig nagyobb mint a tiszta levegőben. Különösen áll ez a gomoly-felhőkre (cumulusokra) nézve, mi szerinte onnét van, hogy a felhők levegője a völgyekből kerekedik fel.

Ha a köd- és felhőképződésnek ezt a módját, mely nagyon élénken emlékeztet a túlhűtött folyadékok jelenségeire, nem tekintjük is megdönthetetlenül bebizonyítottnak, a pornak, tehát a szilárd részecskéknek (különösen pedig sőrészecskéknek) a légköri levegőben mindenkor és mindenütt való jelenléte magában véve elvitázhatatlanul, fizikai és chemiai úton egyaránt bebizonyított tény, úgy hogy ama másik, magamagában is nem kevésbé érdekes kérdés előtt állunk: miként tartják fenn magukat a levegőben eme szilárd részecskék, melyek még a víznél is jóval sűrűbbek, és a levegőnél bizonyára 3000—4000-szer sűrűbbek?

Hogy itt a közönséges könnyű, azaz csekély súlyú testeknek (pelyhek, papirszeletek stb.) eséséhez hasonló szállingozó mozgásról szó sem lehet, ezt kis megfontolásra könnyű belátni. Az ilyen testek esését a levegő ellenállása nagy mértékben megláthatja ugyan, sőt felfelé irányuló légáramok e testeket felfelé is sodorhatják, de azért a levegőben való maradásuk korántsem közelíti meg azt a maradárságot, melyet nem csupán a közönséges felhőkön, vagyis a vízfelhőkön, hanem még a szilárd részecskékből álló füst- és porfelhőkön is tapasztalunk. Egy közönséges könnyű testnek, pl. pehelynek a nyugodt levegőben való esése elvégre elég gyors mozgás; de az ilyen test a nem nyugodt levegőben sem maradhat meg csak valamennyire is huzamos ideig; mert míg egyrészt a könnyű testnek súlya a felfelé irányuló légáramban is érvényesül, addig másrészt nyilvánvaló, hogy a felfelé irányuló áramok száma és erőssége egészben véve egyenlő a lefelé irányulókéval, és így az ilyen, a szélből felkapott testek csakhamar visszakerülnek a földre, miként ez, a jelenségnek csak valamennyire is figyelmes megsejtelése után is, azonnal szembeötlő.

A különböző felhőket és ködöket alkotó folyós és szilárd részecskék bizonyára oly csekély súlyúak, hogy a levegőnek esésüket gátló hatása egészen

másképen érvényesül, mint ezt a községes levegő-ellenálláson és levegő-áramlatokon tapasztaljuk. A dolog azonban nem épen egyszerű, s lehet hogy ez az oka, hogy a tankönyvek és népszerű iratok a jóval könnyebb Dove-féle magyarázathoz folyamodnak, bár ezt a megfigyelések be nem igazolják és elméletileg is tarthatatlan.

E magyarázat szerint a felhő általában nem is valami kész képződmény, hanem csak a lecsapódás és párolgás bizonyos folyamatnak színhelye. Dove a felhőt a pataknak a zuhogókon keletkező fehér tajtékjához hasonlítja, mely tajték folytonosan más meg más vízcseppecskékből képződik, de azért bizonyos távolságból mégis valami maradandó dolognak látszik. A felhő- és ködbeli parányi vízcseppecskék is szüntelenül újra meg újra keletkeznek és újra meg újra elenyésznek, tehát a felhőnek, mint *egésznek* megmaradása egyszerűen tárgyaltan kérdéssé válik.

Kétségtelen, hogy a felhő, mint egész, alakját szüntelenül változtatja, és hogy az, a mit felületes megtekintésre nyugodt felhőtömegnek látunk, tulajdonképpen erősen kóválygó köd; az is tény, hogy igen sűrű felhők és ködök gyakran rövid idő alatt egészben vagy részben feloldódnak, vagy ellenkezőleg új ködtömegekkel gyarapodnak a szerint, a mint melegebb és szárazabb vagy pedig hidegebb és nedvesebb levegőtömegekkel érintkeznek vagy keverednek. Mindazonáltal a közvetetlen megfigyelés — hiszen a felhőket (hegytetőkön) és a ködöket ép oly közlelről figyelhetjük meg, mint a kőveken tajtékzó patakat — épen nem bizonyítja a cseppecskéknek mint egyedeknek *folytonosan* meg-megújuló keletkezését és megszűnését, sőt a vízcseppecskék maradandósága lehetővé teszi nagyságuknak mikroszkóp útján való meghatározását is. De különben is könnyű belátni, hogy egyazon helyen nem működhetik a cseppecskék között egyidejűleg két ellentétes ok, vagyis egy magasabb hőmérséklet, mely a cseppecskéket elpárologatja, és egy alacsonyabb

hőmérséklet, mely a telített gőzt ismét lecsapja. Tehát a felhőnek a patak tajtékjával csaknem semmi analógiája nincs. De ha a Dove-féle magyarázatnak még volna is némi valószínűsége a községes felhőkre nézve, semmiképpen sem állhatna meg az igen nagy magasságokban lebegő, jégtűkből álló felhőkre (cirrusokra), mivel a jégnek oly rohamos elpárolgása még azokban a nagy magasságokban uralkodó csekélyebb nyomásnál sem tételezhető fel. A lekevesebbé alkalmazható pedig ez a magyarázat a por- és füstfelhőkre, melyeknek részecskéi egyáltalában nem párolgó, legalább községes értelemben nem párolgó anyagokból állanak.

Nem marad tehát egyéb hátra, mint hogy a víz- és a szilárd részecskéknek magatartását mechanikai törvények szerint magyarázzuk. Hogy a levegőnek községes ellenállása, miként ezt a nagyobb méretű és nagyobb súlyú testek esésénél, vagy általában a levegőben való mozgásánál számításba venni szokás, a részecskék húzamosabb lebegésének magyarázatára nem elegendő, ezt már fentebb előterjesztettük. A levegő ellenállása, mint mozgásbeli akadály, korántsem olyan természetű mint pl. a surlódás. Ha valamely testet lejtőre teszünk, a lejtő hajlásának enyhítése vagy pedig a test tömegének, tehát súlyának is folytonos csökkentése révén elérhetjük, hogy a surlódás a test súlyának mozdító összetevőjét egyensúlyozza, hogy tehát a test nyugalomban maradjon. Ellenben a levegő ellenállása nem szüntetheti meg az olyan testnek a mozgását, melyre állandó erő hat (ilyen állandó erő a vízcseppecskék súlya is), legfeljebb az az időpont következhetik be, melyben az ellenállás lassító hatása egyenlővé válik az erő gyorsító hatásával, és e pillanattól kezdve egyenletes sebességű mozgás áll be. Ezt a sebességet, mely bizonyos határig a mozgó test méreteivel arányosan csökken, a parányi méretű testekre nézve még csak megközelítőleg sem határozhatjuk ugyan meg, de azért okunk van hogy feltegyük, hogy értéke

mindenesetre olyan észrevehető megnyerés, mely a részecskéknek a levegőben tetemesebb ideig való megmaradásával össze nem egyeztethető. Magával a pusztá levegő-ellenállással a felhők megmaradásának kérdése tehát alig volna megoldható, de van még egy másik, pontosabban ismert mozgásbeli akadály is, a *levegő szívóssága*, és épen ez az akadály az, mely itt bennünket kiválóan érdekel.

A levegő szívós test! Ez mindenestre furcsán hangzik annak, ki szívós folyadék hallatára mézre, kátrányra, olvasztott gyantára stb. gondol. A nem szívós folyadékok egyik jellemző tulajdonsága, hogy részecskéik egymás mellett a legnagyobb könnyűséggel, tehát minden surlódás nélkül elmozdulhatnak; más szóval, a folyadékrészecskék viszonylagos helyzetének megváltoztatására úgyszólván végtelen csekély erő is elegendő. Ez azonban csak elméleti meghatározás. A valóságban nemcsak minden cseppel folyó testnek, hanem még a terjedős, azaz légnemű testeknek is van szívósságuk, bár ez a szívósság, mint várható, rendkívül csekély, de azért nemcsak hogy megvan, hanem kitűnő experimentátorok pontosan meghatározták még a nagyságát is.* Ha tehát valamely test a levegőben mozog, nemcsak bizonyos levegőtömeget kell félretolnia vagyis a közönséges levegő-ellenállást kell legyőznie, hanem még a hozzája ta-

* Valamely folyadék szívósságát meghatározza az úgynevezett *szívóssági együttható*, avagy a *belső surlódás együtthatója*. 20 fokú vízre nézve ez az együttható 0,01, mi tekintve az egységeket, melyekre e szám vonatkozik, a következőket fejezi ki. Képzeljünk egy 1 cm. vastag vízszintes vízréteget, melynek egyik lapja szilárdan áll, a másik pedig másodpercenkénti 1 cm. sebességgel mozog; hogy eme mozgás a víz szívósságával szemben létrejöhesse, a két lapnak egy-egy cm²-nyi területére (közelítőleg) 0,01 milligramm súlynyi, a lapokat érintő erőnek kell ellenkező irányban hatnia. Ugyanezen egységekben a 20 fokú levegő szívóssági együtthatója Maxwell szerint 0,0002014, tehát a levegő szívóssága mintegy 50-szer csekélyebb a vizénél.

padó levegő és a szomszédos levegő-részecskék közötti surlódást is le kell küzdenie. A dolog úgy áll, mintha valamely golyót mézbe, kátrányba stb. ejtenénk. A golyó annál lassabban fog esni, mennél szívósabb a folyadék és mennél kisebb a golyó átmérője.

A levegő, tekintve rendkívül csekély szívósságát, csak akkor fogja a vízgömböcskék esését tetemesen meglassítani, ha átmérőjük igen csekély. Stokes és Maxwell számításai szerint egy vízgömböcske, mely a közönséges felhők magasságában, tehát nálánál mintegy 1000-szer ritkább levegőben van, másodpercenként mintegy 2 cm.-t esik, ha átmérője 0,025 mm. Ha pedig átmérője 10-szer kisebb volna, másodpercenként csak 100-szor kisebb úton, tehát percenként mintegy 12 mm. úton át esnék;* ha a felhő 1000 m. magasságban volna, csepecskéi teljesen nyugodt levegőben mintegy 57 nap múlva érkeznének le a föld színére. Oly nagy idő ez, melynek tartamában a felhőnek akár ezerszer is van alkalma, hogy felhő-léte megszűnjék. E mozgások lassúsága teljesen megmagyarázza, hogy e mozgásokat miért nem figyeljük meg, és hogy úgy látszik, hogy a felhők teljesen fölveszik a szelek mozgásirányát.

E számítások a vízgömböcskék nagyságára és a levegő szívósságára vannak alapítva. Az utóbbi pontosan megvan határozva, a vízgömböcskék átmérője pedig Waller (1847), Kämtz, Dines (1880) és Assman (1885) mikroszkópi mérései szerint 0,001 mm. és 0,04 mm. között változik.**

Megeshetik még az is, hogy a felhőnek eme rendkívül lassú esése valamelyes fölfelé irányuló légáram *közbejötté nélkül* is nyugalommá, sőt fölfelé irányuló mozgássá is alakulhat. Ugyanis a vízcsepecskék felületén a napsugarak hatására igen élénk párolgás keletkezik, és mivel a vízgőz jóval ritkább az egyazon mérsékletű és nyomású levegőnél, meg-

* Maxwell i. m. 292.

** Lehmann i. m. 159.

eshetik, hogy a felhőnek *mint egésznek* középsűrűsége egyenlővé, vagy még kisebbé válik a felhőt környező levegő sűrűségénél, és e miatt a felhő szabadon lebeg, illetőleg fölfelé száll.

Természetes, hogy megeshetik az ellenkező áramlás is; midőn a felhő annyira tömött, azaz oly nagy számú vízgömböcskét foglal magában, hogy középsűrűsége a környező levegő sűrűségénél valamivel nagyobb, az egész felhőtömeg leereszkedik, miként ezt az úgynevezett esőfelhőkön és némely ködön látjuk.* Sőt Tyndall-nek sikerült mesterséges úton ilyen felhő-leereszkedést kicsinyben létrehozni, és pedig oly módon, hogy nedves levegőt gyors ritkítással járó kitágulás révén lehűtött.**

A szilárd részecskékből álló por- és füstfelhők a párolgás hatására keletkező áramlásoknak alávétve nem lehetnek és a nehézségök okozta mozgásban csupán a levegő ellenállásának és szívósságának hatásai érvényesülnek. Mivel pedig a szilárd részecskék nem tömörülhetnek esővé, sem pedig gőzzé nem oldódhatnak fel: előbb-utóbb a földre kell esniök. Hogy esésök sebessége nagyságukhoz képest nagyon különböző lehet, önként érthető. A legkisebb szemcsék azok, melyek a gőz lecsapódásakor a vízgömböcskék magváiul szolgálnak. Ezek átmérője Assmann hozzávetőleges eredményei sze-

* Aitken a Rigi-n megfigyelte a felhőelemek süllyedését és a leeső vízgömböcskék számát külön készülékekkel megmérve, azt találta, hogy 1 cm² területre percenként 12,000 cseppecske esik. (Beiblätter, 1892, I, 19.).

** Tyndall, »In den Alpen«, 73.

rint 0'0005 mm.-nél kisebb; ha most sűrűségeket a vízzel egyenlőnek vesszük fel, azt találjuk, hogy 1000 m. magasságból (teljesen nyugodt levegőben) csak mintegy négy esztendő múlva érkeznének le a föld színére!

Eme lassú mozgás mellett a legfinomabb pornak a légköri levegőben szertelenül föl kellene szaporodnia, mivel a porképző okok úgyszólván szüntelenül hatnak, és a pornak még a teljesen nyugvónak képzelt levegőben való esése sem bírná megakadályozni, hogy túlságos sok porral bővelkedő normális portartalom jöjjön létre. Azonban a légkörnek a portól való megtisztítását a pornak közvetlen esésénél sokkal jobban előmozdítja az eső, és pedig nem csupán oly módon, hogy a lehulló cseppek az útjukba kerülő port magukkal ragadják, hanem első sorban oly módon, hogy már a felhőképződéskor minden egyes vízgömböcske egy-egy porszemén képződik, úgy hogy a porszemek az esőképződésben mint az esővíz kezdetbeli alkotórészei szerepelnek.

A mondottakban csak azokra az okokra terjeszkedtünk ki, melyek a felhőknek a meddig-addig való megmaradását teszik lehetővé, és a mint látjuk, a dolog eléggé bonyolult természetű. Nem kevésbé bonyolódottak azok a körülmények, melyek között a felhők esővé vagy egyéb csapadékokká tömörülnek, és habár kísérleti és elméleti vizsgálatok révén ezt tekintve is már szintén tovább vagyunk a pusztá vélekedésnél, a légköri vízjelenségek okainak teljes földértése még mindig a megoldásra váró feladatok közé tartozik.

CZÓGLER ALAJOS.