

Egyetemünk újjáalakításának idejében, az akkor még kis városban és kicsinyes viszonyok között bizonyára szabadabban rendelkezhetett ki-ki idejével. Legyünk azon, hogy ezt a szabadságot mai bonyolodottabb viszonyaink között is helyre állítsuk; mert ha majd egyszer

egyetemünkön tanárnak és tanulónak megint lesz bőven érkezése, hogy tanítva vagy tanulva tudományával foglalkozzék, akkor fel fog derülni egy második újjáalakulás hajnala!

BR. EÖTVÖS LORÁND.

## A mesterséges esőről.

Ha nagymennyiségű levegő páratartalmának sűrűsödési foka alá lehül, páratartalma láthatóvá válik és pedig, ha a lehülés nem nagyon erős, kőd vagy felhő alakjában, ha pedig a hőcsökkenés igen jelentékeny, eső vagy hó alakjában. Igen sokat foglalkoztak az utóbbi években azzal a kérdéssel, vajjon nem volna-e lehetséges a Földnek akár melyik helyén a levegő vízpáráinak esővé való sűrűsítését mesterséges úton előidézni és a legkülönbébb módokon próbálták esőt csinálni. A kísérleti eredményeket feltüntető bizonyítékok eddigelé nagyon határozatlanok és egymásnak ellenmondók.

Ötven éve, hogy Espy észak-amerikai meteorológus az esőkészítés eszméjét felvetette.\* Úgy vélekedett, hogy a földről felszálló meleg levegőoszlop esővel járó ciklónokat, tornádókat, forgatagokat hoz létre. Ha tehát mesterséges úton meleg levegőoszlopot hajtunk a magasba, az esőkészítés kérdése meg van oldva. Ajánlatot is tett a kormánynak, hogy államköltségen hajlandó kísérleteket végezni. A kormány az ajánlatot nem fogadta el, a kísérletek abba maradtak. Akadt azonban 1857-ben egy Mackay nevű mérnök, a ki Espy módszere szerint Floridán kísérletet tett és pedig, mint maga leírja, sikerrel. Egy kiválasztott területen olyankor, mikor az égen még ökölnagyságú

felhő sem mutatkozott, nagy rakásra halmozott száraz fűvet gyújtott meg. A mint a magasra szállt füstgomolyok oszladoztak, az égboltozaton felhő alakult. De alig hogy ezt észlelte, már is messziről erős dörgés hallatszott és villámok cikáztak. Nemsokára megeredt az eső.

E látszólagos siker Espy-t még jobban megerősítette nézetében, a mely ma is talál még hívőkre, noha ismételtlen megczáfolták. A messziről hallatszót menydörgés — mondja Faye idézett értekezésében — Mackay-t arra figyelmeztethette volna, hogy a zivatar távolról jön. A melegebb vidékeken derült idő közepette gyakori eset a forgataggal vagy tornádóval párosult zivatar. Kezdetben nem látni egyebet egy cseppecske felhőnél (a portugál hajósok »ökör szemé«-nél), a mely eleinte igen lassan gyarapszik, azután roppant gyorsan és csakhamar beborítja az égboltozatot. Eszébe sem jut senkinek, hogy a zivatar ott helyben keletkezett.

Egy másik esemény, a mely a nagy tűznek esőkészítő hatását támogatni látszott, 1871-ben Chicago vidékén történt, a hol egy óriási tűz alkalmával beállott eső az emberekben általánosan azt a hitet keltette, hogy az eső a tűz következtében keletkezett. De Lapham P. a »Signal Office« segédje minden komolyan gondolkozó előtt tönkre tette e hitet azzal az észleletével, hogy csakis negyednapra a tűz keletkezése után esett, a levegő különben sem volt csendes, a páratartalom pedig igen nagy volt.

Nem érdektelen az sem, hogy Bell

\* Lásd Comptes Rendus CXIV. k. 17. sz. Faye: Sur les moyens de provoquer artificiellement la formation des pluies.

H. New-Yorkban azt az eszmét vetette fel, hogy szabad tüzek gyújtása helyett czélszerűbb volna a meleg és nedves levegő felszállását magas tornyokon keresztül eszközölni. Bizonyos helyeken 1500 angol láb magas, belül végig üres toronyforma építményeket kíván felállíttatni és rajtuk keresztül a magasba felhajtani a meleg és nedves levegőt, hogy ott felhőképződésre adjon alkalmat.

F a y e teljesen lehetetlennek tartja E s p y eszméjét, mert a felszálló meleg levegőoszlop, akár szabad tűztől emelkedjék, akár pedig óriási tornyokon keresztül hajtassék fel a magasba, soha sem fog záppal járó tornádót vagy forgatagot támasztani.

Legújabb időben felhagytak azzal az eszmével, hogy tűzzel csináljanak esőt, de magával az esőkészítés eszméjével nem. Robbanó anyagoknak a levegőben való felrobbantásával próbálták szerencsét és ezekre vonatkoznak mind ama közlemények, melyeket utóbbi időben a mesterséges esőkészítésről hírek esztek.

Az eszmét a robbanó anyagoknak mesterséges eső készítésére való alkalmazására valószínűleg onnan vették, hogy háborukban az erős ágyúzást gyakran szakadó eső követi, meg hogy a vulkánok kitörésekor rendszeren zápor hull a vulkánra. Ámde az előbbi tényre alapítani az esőkészítést meglehetősen merész dolog, azon a tüneményen pedig, hogy a vulkánok kitörése esőhullással jár, mi csodálatos sincs. Ott az esőképződésben nemcsak a kitöréssel járó erő- és hőjelenségek működnek közre, hanem az eső legfőképen ama nagymennyiségű vízgőznek lehüléséből ered, a melyet a vulkán kráteréből a magasba lövel.

Megint csak az Egyesült-Államokban, a hol sok vidék szenved esőhiányban, próbálkoztak az esőkészítéssel. D y r e n f u r t h tábornok, hír szerint a kormány megbízásából, Texas tartományban Rauch vidékén 1891 augusztus havában végzett esőkészítés céljából robbantási kísérleteket, hogy a földre csalogassa

»a nedves elemet«. A kísérletek sikeréről nagyon ellenmondó hírek kerültek nyilvánosságra, úgy hogy nem igen alkothatunk magunknak helyes véleményt eredményökről. A tábornok közlése szerint az eredmény tökéletes. Szerinte azon a területen három év óta egyetlen egyszer sem volt valami nagy eső, kísérletezései közben pedig háromszor erősen esett. Egy tudósító arról értesít, hogy a három heti kísérletezés mindig sikerrel járt, egyetlen egy kísérlet sem volt meddő, mert utána legfeljebb 12 óra múltán eső esett. Ezekkel szemben mások, különösen a benlakók azt állítják, hogy a kísérletezések épen a rendes esőzések idejében folytak és hogy sokkal több volt az eső a kísérletek színhelyétől távolabbra levő vidékeken, mint ott, a hol a tábornok robbantási kísérleteit végezte.

A kísérletek sikerét némiképen meg erősíteni látszott egy szenátornak ama közlése, hogy a Pacifique vasútnak építésekor végzett nagy robbantásokat gyakran viharok és erős esőzések követték. Ha ezt való ténynek fogadjuk is el, még nem következik belőle, hogy a tábornok kísérletei az esőkészítés kérdését sikeresen megoldották volna. Annyi bizonyos, hogy a tábornok kísérletei mindenütt élénk eszmecsere tárgyai és addig, a míg határozottabb és megbízhatóbb értesítés róluk nem érkezik hozzánk, az eredményeket kétkedőleg kell fogadnunk.

F a y e ismételten idézett értekezésében (Comptes Rendus 1892) ama meggyőződését fejezi ki, hogy a robbantási kísérleteknek nem lehetnek meg a sokaktól képzelt sikerük. Nem képzelhet olyan mesterségesen alkalmazott erőt, a mely a 10,000—12,000 méternyi magasságban szállingózó fodros felhőket arra bírja, hogy mélyebb rétegekbe szálljanak alá zivatart vagy záport keltendő. Egyedül a légkör magas rétegeiben képződő és egyre lefelé szálló óriási csavarulatos mozgások volnának erre képesek. D a v i s W. M. az »American meteorological Journal«-ban szintén na-

gyon keveset vár a robbantási kísérletektől.

A diskusszió közben a kérdésnek szigorúan tudományos oldala is felmerült és egyebek között előttünk fekszik Edwin J. H o u s t o n-nak a »Franklin Institute« elektrikai osztályában e kérdéstről tartott előadása,\* a melyet mielőtt ismertetnénk, lássuk, hogy tulajdonképen mi-ben állottak és milyen körülmények között végeztek D y r e n f u r t h tábornok kísérletei.\*\*

A tábornok az esőt mesterségesen durranógáznak, dinamitnak és puska-pornak robbantásával akarta készíteni. E célból 1891 augusztus 18-ikának délutánján, — a mikor a tábornok leírása szerint alig szállingózott néhány báránylevegő az égen és esőre épenséggel nem volt kilátás — durranógázzal töltött meg fel nem jegyzett nagyságú gömböt és azt vagy 2500 méternyi magasságban elektromos szikrával robbantotta fel. A gömbnek óriási dörgéssel való felrobbanása után mindjárt dinamittal megrakott sárkányokat eresztett fel igen nagy magasságokba, hogy ott felrobbantsa őket. Ugyanakkor a kísérletező állomástól vagy 3 kilométernyire elhelyezett puskaportelepeket is elektromossággal gyújtotta meg.

Olyanforma dörgés hallatszott, mint-ha egy batteria ágyút sütöttek volna el. Fehér füst szállott fel, de nem emelkedhetett nagyon magasra, — írja a tábornok — mert csakhamar megeredt az eső, a mely eltartott 4 óráig és 20 percig. Curtis tanár, a kísérletező expedíció meteorológusa, 1000 angol mérföldnyire becsüli az eső borította területet. Hogy a kísérletet megelőző időben hogyan állott és mit mutatott a barométer, arról nem olvashatunk följegyzést, a légkör aránylagos nedvessége azonban állítólag nem volt több 60%-nál.

Augusztus hó 28-ikán a tábornok több ezer angol köblábnyi durranógázt

tartalmazó gömböket eresztett fel a magasba és 1000—10,000 angol lábnyi magasságban robbantotta fel őket. Nap-lenyugtakor kezdődött meg a földön elhelyezett puskapor-batteriáknak a durrogatása és egyfolytában tartott 10 óra 30 percig. Az égboltozat tökéletesen tiszta volt, a csillagok teljes fényökben ragyogtak. A barométer szép időt jósolt, a higrométer a »száraz« és »nagyon száraz« között állott. D y r e n f u r t h tábornok 11 órakor tért nyugalomra, de nem sokáig alhatott, mert hajnali 3 órakor erős villámlás, menydörgés ébresztette fel az esőkészítőt és zápor hullott reggeli 8 óráig. Újra dinamitot robbantott fel és a fellegekből az utolsó csepp is a földre esett.

Ennyi került a kísérletekből nyilvánosságra. A kísérleteket El Paso vidékén és nyugoti Kansasban folytatják. Lehet, hogy ezek majd pontosabb és megbízhatóbb adatokat fognak szolgáltatni a mesterséges eső érdekes kérdésének megoldásához.

Most pedig lássuk a kérdést a tudomány világitásában, azaz vizsgáljuk meg, vajjon tudományos tények mennyiben támogatják az esőkészítés problémájával foglalkozókat.

Eléggé ismeretes dolog, hogy az eső létrejövetelére szükséges hőcsökkenés vagy úgy áll elő, hogy meleg és hideg levegő keveredik egymással, vagy pedig úgy, hogy vízgőzzel telített meleg levegő kerül hidegbe. Mind a két esetben az esőképződés attól függ, vajjon a levegő lehül-e annyira, hogy a vízpárákat láthatatlan alakban megtarthassa és vajjon a vízpáráknak tömege eső alakjában hull-e a földre alá. Az eső mennyiségét a levegőnek vízpárákban való bősége és a hőcsökkenésnek mértéke határozza meg.

Az első esetben, a midőn meleg és hideg levegő keveredik egymással, sok eső sohasem képződhetik, mert a mint a meleg levegő lehül és a keverék levegő páratartalmát a telítéshez közel juttatja, a hideg levegőnek fölmelegedése ezt a hatást ellensúlyozza. Permetező eső ez

\* Revue Scientifique 1891, 17. sz.

\*\* Nature 1891, 1142. sz.

úton létrejöhet; nagy eső csakis akkor, ha mind a hideg, mind a meleg levegőnek igen nagy a páratartalma.

Tehát marad az esőképződésnek második módja az, a midőn meleg levegő nyomul hideg hely felé. Ez három különféle módon történhetik:

1. Ha a szél a meleg és nedves levegőt hidegebb földrajzi szélesség felé hajtja. Ismeretes, hogy az egyenlítői áramlatok vonulásai a sarkok felé nagy esőknek okozói. 2. Ha a levegő meleg felületről az árammal nagy magasságokba száll és ott nemcsak a magasság okozta hideg, hanem a levegő kiterjedése és a nyomás csökkenése következtében is lehül. 3. Ha a szél a levegőt hegyléc mentén kergeti magasba és a hegység útját állván a szél vonulásának, a meleg levegőrétegeket arra kényszeríti, hogy a hegyoldalat érintve fokozatosan emelkedjenek magasba.

Mind a három esetben a keletkező eső nagyon bőséges lehet, egyéb módon azonban bőséges eső alig képződhetik.

Alkalmazzuk ezeket az elvéket a mesterséges eső készítésére vonatkozó módszerre és lássuk mennyi sikert ígérnek.

Nagymennyiségű robbanó anyagnak egyszerre vagy egymásután való felrobbantása a légkör magasabb rétegeiben heves mozgást idéz elő és egyúttal a robbanás környékén a levegő tömegnek többé-kevésbé tökéletes keveredését. A levegőnek gyors kiterjedése és a durranáskor felszabaduló meleg, valamint az ugyanekkor fejlődő gázok rohamos vonulatot okoznak, a melyet a levegőnek az explozió középpontja felé tódulása követ. Ezzel egy időben a képződő meleg fölfelé gyenge mozgást igyekszik létesíteni, az általános hatás azonban inkább a levegőnek keveredése lesz, semhogy felszállása. Mindenképen azonban az explózióknak közvetlen hatása egy kis területen depresszió lesz, a mi vagy rögtön áll elő, avagy nem sokkal az explodáló anyagoknak elsütése után. Vajjon a légnyomásnak eme változásait konstatálták-e a texasi kísérletek közben?

A mi a heves mozgást illeti, annak lehet ugyan hatása az esőképződésre, de csakis csekély. A fölfelé való mozgás is hozhat ugyan esőt létre, de mivel hogy az maga is csak korlátozott, hatása sem lehet jelentékeny. Mínt az egyik, mind a másik esetben a hó csökkenését — a mellyel a páratartalom foka arányosan emelkedik — nagyon könnyen megsemmisíthetik a nitrogliczerin vagy a puskapor robbanásakor fejlődő száraz és meleg gázok. Ép ezért jobb a durranó gázzal megtöltött gömböknek szét-durrantása, mint a nitrogliczeriné, dinamit vagy puskaporé, mert az explozió után vízgőz keletkezik, nem pedig száraz gáz. Nem szabad arról sem megfeledkezni, hogy a durranógáz explodálásának rendesen depresszió a következménye, vagyis a levegőnek tódulása az explozió középpontja felé, a puskapor vagy a nitrogliczerin felrobbanásának erős kiterjedés.

Egy körülményt azonban eddig egészen tekinteten kívül hagyunk. Az esőkészítési kísérletek, úgy látszik, a nélkül történtek, hogy a levegőnek páratartalmát figyelembe vették volna. Pedig az eső nem egyéb mint a telített levegő vízpáráinak megsűrűsödése, midőn a meleg és nedves levegő elegendőképen lehül. Az esőnek mennyisége épen úgy függ a levegő páratartalmának mennyiségétől, mint a lehülés mértékétől. Robbantásokkal kísérteni meg az esőkészítést a nélkül, hogy előbb a levegő páratartalmát ismernők, annyi, mint ott keresni vizet, a hol nincs.

Azt hinnők, hogy az explózió szülte rázkódtatás a légkörnek messze terjedő rétegeiben heves mozgást idéz elő és nagy területen hoz létre esőt. A villámlás és dörgés tüneménye némiképen a levegőben való mesterséges explózióhoz hasonlítható. Először villám cikázik a levegőn keresztül, azután menyidörgés következik, a mi nem egyéb a légkör heves megrázkódtatásánál.

Vajjon ezzel a megrázkódtatással járhat-e bőséges eső? A laikus közönség azt hiszi, hogy igen, de a tudós

világnak az a véleménye, hogy a menydörgést és a villámot a levegő vízgőzének rohamos megsűrűsödése, vagyis a hevesen képződő eső okozza, nem pedig a menydörgés s villámlás az esőt. Mindazonáltal a felszabaduló hő és a levegőnek a dörgést meg villámlást követő gyors keveredése az eső erősségét egy kevésbé növelheti és azt is okozhatja, hogy valamivel nagyobb területen képződjék. A menydörgős villám meg a mesterséges robbanás között az a különbség is van, hogy amaz igen csekély szélességű és vastagságú, de igen hosszú térben, emez pedig csak nagyon korlátolt és a kiterjedésnek mind a három irányában majdnem egyforma térben történik.

Jóllehet azonban a villám nem okozhat esőt, mégis kétségtelen, hogy ha az esőt mesterségesen éppen abban a pillanatban állítanák elő, a midőn a levegőben sok az elektromosság, a záport villám és menydörgés kísérené.

Amaz óriási erőkészlet, mely akár egy kis területen is az esőkészítésre szükséges, alig biztat ez erőkészlet előteremtésére. Az explóziótól a légkörben produkálható legnagyobb erőmennyiség jelentéktelen ahoz az erőhöz képest, melyet aránylag kis eső produkál.

De van mégis egy fontos tekintet, a mellyel az esőkészítők megvigasztalhatók. Ha ugyanis valahol a légkörben bőségesen van nedvesség, jelentékenyen több mint a szomszédos és a földhöz közel levő rétegekben, akkor abban a nedves levegőrétegben explózió is hozhat létre esőt, a szükséges erőt a nedves levegő szolgáltatván hozzá. A nedves levegőtömegben rejtett energia van, a melynek felszabadulása elégséges arra, hogy a levegőben nagyterjedelmű áramlást létesítsen. A mint t. i. a levegőben foglalt vízpárák megsűrűsödnek, a rejtett energia meleg alakjában felszabadulván, fölfelé szálló áramlást idéz elő, a mely újabb sűrűsödést és ennek következményeképen újabb mennyiségű rejtett energiának a felszabadulását okozza.

A levegőnek egyensúlyi állapota

néha nagyon ingadozó; ekkor kis ok is elegendő bőséges eső létrehozására. Ilyenkor mesterséges explózió is szülhet esőt. Ámde hozzá kell tennünk, hogy ama természeti okok, a melyek a levegőt abba az ingadozó egyensúlyi állapotba hozták, a mely annyira kedvező az esőkészítésre, a legtöbb esetben maguk is elegendők arra, hogy mihamarább eső képződjék, szükségtelen tehát a segítség mesterséges úton.

Vannak továbbá meteorológiai föltételek, melyek mellett természetes módon bőséges eső nem képződik, de mesterséges úton előidézhető. Tegyük fel például, hogy valahol egy magasabban fekvő hideg s nedves levegőréteg meg a föld színe között egy meleg s nedves levegőréteg van, és pedig a felette levőtől aránylag vékony réteggel van elválasztva. A föltételek egyébként olyanok, hogy a két réteg egymástól elkülönítve maradhat. Nagyon természetes, hogy a közbeeső vékony választórétegek mesterséges áttörésével a meleg levegő rohamosan fölfelé fog hatolni és zápor lesz az eredmény.

Az utóbb felhozott esetből, valamint a fentebbiekből kétségen kívül következik, hogy ez explóziók fönn a magasban sokkal hatásosabbak, mint a föld színén; továbbá pedig, hogy az explóziók, a melyeket fönn a légkörben számítással, azaz a körülmények tekintetbe vételével végeznek, sokkal többet érnek, mint midőn csak úgy találomra dolgozunk.

Ha tényleg számba vehető a különbség a két réteg között, t. i. a felső hidegebb és az alsó melegebb között, a kettőt szétválasztó réteget már a villám is keresztül töri, de annál biztosabban az olyan explózió, melyet a meleg és a hideg levegőréteg között támasztanak. De különben, mivelhogy a felszálló áramlat a bőséges esőt produkálja, az is bizonyos, hogy több siker várható az olyan explóziótól, a mely a levegőnek a magasba áramlását okozza, mint bárminő, csakis a véletlenre bízott robbantástól. A levegőnek fölfelé való áramlá-

sát jobban elérhetni kúpalakú puska-golyóknak fölfelé való lövésével, mint nagyobbbszerű explóziókkal.

Mindent összevéve, az esőkészítő kísérleteknek sikere legfőképen a felső és az alsó levegőrétegek meteorológiai viszonyainak pontos ismeretétől függ. Csakhogy ismereteink ez irányban még nagyon hézagosak; azokat kellene első sorban észszerű módon gyarapítani. Regisztráló elektrométerrel, higrométerrel, anemométerrel és egyéb készülékekkel felszerelt léggömböket kellene összekapcsolni a földön elhelyezett készülékekkel és azokkal följegyeztetni a légkör különféle rétegeiben időnként észlelhető tüneteményeket. Az ilyen légkörvizsgáló állomásoknak szervezésével és fentartásával járó költségek csekélyek volnának ama nagy haszonhoz képest, a melyet belőlök meríthetnénk nemcsak a mesterséges eső problémájának megoldására vonatkozólag, hanem általában a meteorológiai állomások munkásságára és pozitív eredményére nézve is.

Ha meggyőződünk, hogy valahol a légkörben meleg és nedves levegő van túlsúlyban és gyenge lehülés elegendő arra, hogy a párák megsűrűsödjenek, akkor esőt egyszerűen úgy készíthetnénk, hogy fenn a magasban gyorsan párolgó folyadékkal megtöltött hengereket nyitnánk meg, úgy hogy a gyors párolgás folytán keletkező hideg lehütné a körülötte levő levegőréteget. A hengereket a leginkább tanácsos időben a földről igazgatott elektro-mágnesekkel lehetne megnyitni.

A meteorológiai tudomány mai állása szerint a mesterséges esőnek kérdése a következő pontokban foglalható össze:

1. Sehol a földön sem készíthető eső tetszés szerinti robbantásokkal; okvetetlenül számon kell venni az illető helynek egész évi meteorológiai állapotait.

2. Bizonyos meghatározott és jól megállapított meteorológiai föltételek alatt explóziók a légkörben nagyobb területeken is hozhatnak létre esőt.

3. Az eső keletkezésére szükséges erőt nem az explózió szolgáltatja, hanem a légkör vízpáráiban felhalmozva levő és lehüléskor felszabaduló energia.\*

4. A legtöbb esetben, ha nem mindannyiban, ama meteorológiai föltételek, a melyeknek jelenléte az esőkészítés sikeréhez szükséges, természetes úton is esőt eredményeztek volna.

5. Kedvezők a körülmények az esőkészítéshez, ha a légkörnek különböző rétegeiben, avagy a légkör és a föld felszíne között nagy a hőbeli és nedveségbeli különbség, föltéve természetesen, hogy egyéb meteorológiai föltételek is összevágának e tüneteménnyel.

6. Az esőkészítésre leghatásosabb az olyan explózió, a melyel a levegőnek fölfelé való áramlását igyekszünk előidézni. (Az idézett források nyomán)

Közli: SZTERÉNYI HUGÓ.

\* Nem érdektelen azért M. C. Johnson kísérlete Sandy-Hookban és a bostoni kikötőben, a ki a ködöt igyekszik erős elektromos szikrákkal esővé sűríteni. Az eddigi kísérletek elég jó eredménnyel jártak. (Revue Scientifique 1892, 19. sz. 603. l.)