

A RADIOMETER TÜNEMÉNYEK ÉS ELMÉLETEK RÖVID
ISMERTETÉSE ÉS CROOKES LEGUJABB KISÉR-
LETEINEK BEMUTATÁSA.

Dr. Abt Antal egyet. tanártól.

Tisztelt szakosztály! Alig mult el egy pár év, mióta Crookes¹⁾ és Bergner²⁾ mindegyik önállóan és majdnem ugyanazon időben a hő és fény okozta vonzást és taszítást felfedezték és Crookes az első radiometereket³⁾ 1875 april 7-én a Royal Society egyik estélyén bemutatta, már is annyi kísérleti anyag lett ezen érdekes tünemény megfejtésére összegyűjtve, hogy ma már ezen tárgynak említésre méltó irodalma is van. És a Zöllner által szerkesztett „Skalen Photometer“-nél a radiometer nevezetes alkalmazást is talált a fény pontos mérésére, mechanikai mozgásból, melyet a fény létrehoz.

A radiometeren észlelhető tünemény tudvalevőleg abban áll, hogy a radiometerkereszt fény vagy hő sugarak által forgásba hozatik. A radiometerkereszt végén rendszeren négyszögletes finom aluminium vagy csillámlemezek (szárnyak) vannak erősítve, melyek az egyik oldalon be vannak kormozva és többnyire a vízszintes kereszt-hez 45°-nyi szög alatt hajlanak. A forgásnál a tisztán maradt oldal megy előre. Ha kettős lemezek használnak (csillám és aluminium), akkor mind két oldal tisztán marad és a forgásnál a csillám megy előre. Ezek a közönséges radiometerek, melyekben a levegő nagyon erősen ritkítva nincsen. Az első Crookes-féle radiometernél a szárnyak az egyik oldalon bekormozott bodzabél lemezekből voltak készítve.

Ezen egyszerű radiometer tünemény megfejtésére felállított nézetek és elméletek közül három magaslík ki kiválóan; u. m. az erőműtani gázelmélet, a gőzölgési elmélet és a villanyos sugárzási elmélet.

¹⁾ Philosophical Magazine. Ser. 4. Vol. 48, Nr. 316. 1874. augusztus hav. 81. l.

²⁾ Kis közleményének czime: „Die Anziehung und Abstossung durch Wärme und Licht, und die Abstossung durch Schall. 1874.

³⁾ Proceedings of the Royal Society (Vol. XXIII, Nr. 161, 373. l.)

A gázelmélet (Tait és Dewar) szerint a légmolekulák a radiometerben, ha a levegő kellően meg van ritkítva, sokkal hosszabb útat irhatnak le, mielőtt egymásba ütköznek, mint a nem ritkított levegőben. W. Thomson, Cl. Maxwell és Clausius szerint valamely gázmolekulának uthossza két összeütközés között közönséges nyomásnál átlagosan körülbelül egy tizezred milliméterre tehető. Tait és Dewar szerint, a radiometerek kiüresítése az eredeti sűrűség $\frac{1}{100000}$ -áig mehet és ezen esetben a közép szabad úthossz 400 milliméter, tehát igen nagy a radiometer méreteihez képest. A gázmolekulák minden irányban haladnak, a hőmérséklettől függő gyorsasággal, azok tehát, melyek a sugarak által hevített oldalon visszapattannak, nagyobb gyorsasággal bírnak, mint a hidegebb oldalon visszapattanók, ezáltal a lemez, a hidegebb oldal felé mozog. Közönséges légnyomásnál az úthosszak oly kicsinyek, hogy a molekulák gyorsasága csakhamar csökken és látható hatása nincs. Tehát nem a sugárzó meleg közvetlen nyomása a kormosított lapra okozza a forgást, hanem csak valamely gáz közvetítése által, mint Finkener¹⁾ különösen kiemeli. Kísérletei szerint a radiometer kereszt, melynek szárnyai egyfelől békormosított csillám lemezekből állottak, egy bizonyos gázláng befolyása alatt legnagyobb forgási gyorsaságát elérte, ha a levegő nyomása a radiometerben 0,007 m. m. volt, vagyis 110000-szeres ritkításnál. Vagy más különösen ezélra tett kísérlet szerint 0,01 mm. nyomásnál, azaz 76000-szeres ritkításnál. Ha a levegőt még tovább ritkította, a forgás gyorsasága csökkent. Ezen ritkítási fokból azon feltevés mellett, hogy a szárny két lapjának hőmérsékleti különbsége $0,01^\circ$ és hogy a levegő mérséklete 20° , a forgást okozó nyomást a négy szárnylapra, melyeknek területe kerék számban 6 cm^2 centimétert tett, összesen egy kétezred milligrammenak számítja ki.

A radiometer forgására legkedvezőbb ritkítási fok azonban szerinte nem egyenlő valamennyi gáznál, hanem kísérletei szerint a hidrogengáznál alantabb fekszik, a szénsavnál pedig magasabban mint a levegőnél.

Crookes nagy számú különböző irányban tett kísérleteiből kitűnt, hogy a fényokozta taszítás valamely könnyű mozgású testre

¹⁾ Pogg. Ann. 158. k. 572. l. Különböző gázok, különböző nyomás és a sugárzó meleg befolyása a radiometer forgásra.

ritkított levegőben annál kisebb, minél több levegő van a készülékben, és hogy egy bizonyos nyomásnál, a neutralis pontnál, a taszítás nulla és a nyomás még további növekedésénél átmegy vonzásba, azaz a forgás iránya ellenkező lesz. Ehez hasonlót észlelt Finckner is. Crookes szerint az elérhető legjobb vacuumnál a tűneményre nézve teljesen mintegy, bár milyen gáz legyen a készülékben. Egyik tökéletesbitett készülékéről azt tartja, hogy a hősugarak iránt talán érzékenyebb a közönséges thermomultiplicatornál; azt találván, hogy 100°-u rézlap sötét sugarai, miután üvegen átmentek, a skála 3,25-nyi kitérését okozták, hol ott a hővillanyos oszlopban észlelhető villanyáramot nem hoztak létre.

A villanyos fény és a nap szinképevel tett észleletei szerint nem csak a vörös előtti és sötét vörös sugarak hatnak a fénymérlegre, hanem a világító és az ibolyántúli sugarak is.

A neutralis pontra nézve azt találja, hogy az nem csak a készülékben levő gáz minőségétől és a sugárzás hatályosságától, hanem még a sugarak által talált testek (radiometereknél a kereszt és a szárnylapok) természettani tulajdonságaitól, súlyuknak a felülethez való viszonyától és a környezet mérsékletétől függ.

A gőzölgési vagy párolgási elmélet szerint, melyet először Osborne Reynolds¹⁾ felállított és későbbben Govi²⁾ követett, azon ritkított térben, melyben a Crookes-féle tűnemények legjobban észlelhetők, nedvesség létezik, mely a hősugarak befolyása alatt a radiometergolyón elpárologván taszítást hoz létre, a hideg pedig a gőz megsűrítését és ez által vonzást. Közvetlen kísérletekből kitűnt, hogy az elpárologás valamely lapon oly erőt hoz létre, mely a lapot eltaszítja, a condensatio pedig olyant, mely azt vonzza.

Ezek ellen Zöllner³⁾ a villanyos sugárzási elméletet (Elektrische Emissions Theorie) állítja fel, mely szerint a hősugárzás valamely felületen mindig villanyos részecskék kibocsátásával (emissio) járna, azaz: a hősugarak által talált lapon hősugarakkal együtt villanyos részecskék áradnak szét minden irányban, és a gázelmélet megdöntésére számadatokat hoz fel és új kísérleteket, és ezekkel to-

¹⁾ Proc. Royal Society 1874.

²⁾ Comptes Rendus 1876.

³⁾ „Das Skalen-Photometer“ című munkájában. (1879).

vábbá Crookes egyik nevezetes kísérletével és végre a legújabb Crookes féle¹⁾ nevezetes kísérletekkel saját elméletét támogatja. A gázelmélet ellen felhozott okai következők. Az első a molekulák szabad úthosszára vonatkozik. Tulzottnak tartja Tait és Dewar azon feltevését, hogy a ritkítás náluk egy négymilliomod atmosphäraig ment, a mi higanyoszlop által kifejezve, 0,00019 mm. tenne. Finkener táblázataiban a legkisebb nyomás rendszeren 0,025 mm.-re van téve és ez is számítás útján van meghatározva azon feltevés alapján, hogy a nyomás minden egyes szivattyuzás után mértani sor szerint csökken. Ezen nyomás körülbelöl 132-szer nagyobb a Tait és Dewar által felvett értéknél; így tehát a mechanikai gázelmélet szerint a molekulák közép úthossza csak $400 : 132 = 3$ mm. Maga Finkener a legnagyobb radiometrikus gyorsaságnál a nyomást 0,007 mm.-re becsüli. Ezen esetben az úthossz nem több 10 mm.-nél.

Crookes szerint közönséges radiometereknél a nyomás rendszeren 0,19 mm. tesz. Ezen nyomásnál, mely 27-szer nagyobb az előbb említetttnél (0,007 mm.), a közép úthossz már csak $10 : 27 = 0,37$ mm.

Ha tehát a radiometer átmérőjét p. o. 60 mm.-re teszszük és ezzel a molekulák közép úthosszát összehasonlítjuk, ugy az utobbít 162-szer kisebbnek találjuk. E szerint nem az úthossz felette nagy a radiometeredény méreteihez képest mint a gázelmélet felteszi, hanem éppen megfordítva.

Crookes szerint a radiometer mozgásra legkedvezőbb negyven milliomod légköri vagyis 0,03 mm. higanynyomás, minek 2,5 mm.-nyi úthossz felel meg. A nyomás még további csökkentésénél, egy tizmilliomod atmosphäraig vagyis 0,000076 mm.-ig, a sugarak hatása nem növekedett, hanem gyorsan apadt és pedig a legnagyobb hatás $\frac{1}{18}$ részére.

Egy másik ellenvetése a radiometerekben visszamaradó higanygöz feszerejére vonatkozik. A légüresítés higanylégszivattyúval történvén, a radiometerben mindig higanygöz marad vissza. Ennek nyomását Regnault észleleteiböl a ritkított levegőével összehasonlítja és azon eredményre jut, hogy a higanygöz feszélye, ha a légüresi-

¹⁾ On Radiant Matter. British Association. 1879. Németben Gretschel-töl „Strahlende Materie“ czim alatt.

tett radiometer a beforrasztás alatt 1000°C -ra lett hevítve, és azután ismét 20° -ra lehült, $0,0087$ mm.-en alól nem szállítható; hogy tehát az még mindig 46-szor nagyobb azon nyomásnál ($0,00019$) melyet *Tait* és *Dewar* feltesznek. E szerint a higanymolekulák közép uthossza csak $8,7$ mm., de tömege nagyobb mint egy légmolekuláé, és pedig 7-szer nagyobb egy nitrogen molekula tömegénél. Minthogy *Avogadro* törvénye szerint egyenlő nyomás és egyenlő hőmérsékletnél ugyanazon térben a higanymolekulák száma ugyanannyi, mint a gázmolekuláé, amazok befolyása a radiometer tűnemények megfejtésénél okvetlenül tekintetbe veendő.

Minthogy a mechanikai gázelmélet ezt nem teszi, és a gázmolekulák közép úthosszára tett feltevése sem áll, az *Zöllner* szerint a kísérletek által igazoltak nem tekinthető.

Zöllner kísérletei közül következőket emelem ki.

1. Közönséges alakú és nagyságú és a közönséges módon és határig ritkított radiometert készítettett, melynek mozgó része kereszt helyett aluminium csikhoz erősített 35 mm. átmérőjű aranylemezből állott. Az aranylemez, ha egyik lapjára merőleges irányban napsugarak vezetettek, nem mutat határozott taszítást, és majdnem semleges a sugarak iránt még akkor is, ha egyik oldalát sűrű sugárnyaláb találja, a másik oldal pedig teljesen árnyékban van. Ugyanezen tűnemény észlelhető, ha aranylemez helyett ezüstlemez vagy mindkét oldalán egyenes és tiszta aluminiumlemez használtatik.

Hogy a sugarak által közvetlenül talált oldal és az árnyékba eső oldal közti hőmérséklet különbség vezetés által ki ne egyenlítették, a mi ilyen vékony fémlemezknél csakhamar bekövetkezhetik, egyszerű helyett hármast alkalmazott, két tiszta aluminiumlemezt és ezek között csillámlemezt. Még az ilyen lemez is a merőlegesen reá eső napsugarak iránt semleges maradt; holott egy aluminiumlemez, melynek egyik oldala csillámlemezzel van bevonva, ha fémi oldalát napsugarak érik, erősen eltaszítatik, épen úgy mint ha a radiometerben egyszerű aluminium vagy csillámlemez létezik, melynek egyik oldala be van kormozva, ha a sugarak a bekormozott oldalra esnek.

Ezen tényekből *Zöllner* azon következtetést vonja, hogy a hőmérséklet-különbség a sugarak által talált oldal és az árnyékos oldal között nem lehet oka az e radiometereknél észlelt mozgásnak.

Mivel a hármas lemeznél a sugaraktól ért és az árnyékos oldal közti hőmérséklet-különbség vezetés által történt kiegyenlítése a nagyobb vastagság miatt bizonyára kisebb mint a kettős (csillám-aluminium) lemeznél, és mégis az első esetben semmi, a másodikban pedig, a hol a hőmérséklet-különbség kisebb, erőlyes taszítást hoznak létre a sugarak.

E szerint, — így állítja Zöllner — a mechanikai vagy kinetikus gázelmélet, melyet jelenleg a physikusok nagyobb része a radiometer tűnemények megfejtésénél kiindulási pontul elfogad (és mely szerint az ellökő erő azon nagyobb gyorsaságtól származik, melylyel a gázmolekulák a magasb mérsékletű oldalon viszszapattannak), a föntebbi tűnemények megfejtésére nem alkalmas.

Zöllnernek ezen következtetése azonban véleményem szerint nem egészen kifogástalan, a mennyiben ő a radiometerszárny két oldalának hőmérsékleti különbségét hallgatag egyedül a szárnylemez vastagságától függőnek mondja, mely különbség vékony lemezeknél vezetés által csakhamar kiegyenlítettik és a lemez még ha a napsugarak egyik oldalát merőleges irányban találják is, nyugalomban marad. Már pedig hogy a radiometer mozgása (nem menynyilegesen hanem általánosán véve) menynyire nem függ a szárnylemez vastagságától és a mérsékleti különbségnek vezetés útján való kiegyenlítésétől, következik egyszerűen abból, hogy ha Zöllner saját okoskodását még egy lépéssel tovább folytatva, a fenntebb említett hármas szárnylemez egyik oldalához még egy negyedik vékony csillámlemez ragasztunk. Most még vastagabb lett a szárny, a hőmérsékleti különbség vezetés általi kiegyenlítése még kevésbbé lehetséges, de még a tehetetlenségi nyomateka is nagyobb lett, és még is a radiometer forgása a sugarak hatása alatt bekövetkezik.

A mi tehát a tűnemény létrejöttére lényegesen szükséges, az a szárny két oldalának physikai különbsége. Bármilyen vékony legyen a radiometerszárny, ha oldalai különböző physikai tulajdonsággal bírnak, a sötét és világos hősugarak forgásba hozandják. A legvékonyabb csillámlemez, melynek egyik oldala be van kormozva, ha napsugarak a bekormozott oldalra esnek, erőlyesen eltaszítatják. A bekormozott lap több hősugarat nyel el és az első pillanatban nagyobb a hőmérséklete, mint a tulsó tisztán maradt lapé, habár ez is közvetve vagyis a radiométer belső felületén visszaverődő sugaraktól találtatik. Így tehát a bekormozott lapon nagyobb

gyorsasággal viszszapattanó molekulák legalább igen kis időre a szárnyt mozgásba hozhatják, és ha, mint a közönséges radiometerknél, a négy szárny közül mindig egy a sugaraktól találtatik, az ellőkő erő gyors megújulása következtében, a radiometer kereszt forgásba is jön, és pedig erélyes besugárzásnál igen nagy gyorsasággal, úgy hogy a forgásokat megszámlálni vagy az egyes szárnyakat egymástól megkülönböztetni nem is lehet.

Ha a szárnylemezek (csillám, aluminium vagy más fém) mind a két oldalon physikailag egészen egyenlők, akkor a radiometer belső felületén reflektált sugarak hatása az árnyékos oldalra azonnal közömbösíti a mellső lapot találó direct sugarak hatását és a szárny e miatt nyugalomba marad, de nem a hővezetés okozta kiegyenlítés miatt, vagy legalább csak kis mértékben ezen utóbbi ok miatt. Az ilyen radiometer egyaránt érzéketlen a legerélyesebb hőszugárzás iránt is, szárnyai csillámból vagy aluminiumból legyenek, habár az utóbbi jobb hővezető.

A villamos sugárzás azonban, mint Crookes legújabb kísérleteiből kitűnik, az olyan radiometerkeresztre is taszítólag hat, melynek szárnyai mind a két oldalon physikailag egészen egyenlők.

Hogy azon esetben, midőn a radiometerkereszt szárnyai mind a két oldalon egyenlők, a radiometeredény belső falán reflektált vagy is az indirect hőszugarok a mellső lapot találó direct sugarak hatásátellen-súlyozzák, ezen nézetet a következő kísérletem látszik támogatni.

Egy kétszárnyú radiometerre, melynek aluminium szárnyai egyik oldalon vékony csillámlemezzel fedvék, besötétített szobában heliostat segítségével napsugarakat vezettem úgy, hogy ezek csak az egyik felét a radiometernek és pedig a csillámlapot találták, a másik fele átlátszatlan ernyő mögött árnyékban állott. A sugaraktól talált szárny mozgásba jött és pedig az előbb említett magyarázatnak megfelelően a sugarak felé, tehát vonzatni látszott, tényleg pedig az indirect sugaraktól ellökötetett. Bevárván a forgás állandó gyorsaságát megszámláltam az 1 perczeire eső fordulatokat és három észlelésből ezen számokat találtam 5·5, 6, 6. Azután a sugarakat a radiometer másik felére vezettem, úgy, hogy most csak az aluminium lapot találták. A forgás ugyanazon irányban történt, de gyorsabban és pedig egyszer 10, egyszer 11 forgást számláltam. A mikor a sugarak az

egész radiometerre, tehát mind a két szárnyra estek, 1 p. alatt 17 fordulatot olvastam.

A mikor lencsével összpontosított sugarakat vezettem az egyik (nyugvó) csillámlapra, szintén vonzás mutatkozott.

2. Egy másik kísérlete Zöllner-nek már nyomósabb elméletének támogatására. Egyenes, a két oldalon physikailag különböző szárnylemezek helyett félgömbalaku mindkét oldalon tiszta vékony csészékét aluminiumból (vörösréz vagy üvegből) alkalmazott, a minőket szélmérőknél (Anemometer) használni szoktak. Az ilyen radiometerek, melyeknél a szárnylapok milyenségi különbsége alaki különbség által pótolva van, ha mindjárt csak két szárnyból állanak, igen érzékenyek a napsugarak iránt és forgásuk iránya olyan, hogy a homoru (concav) lap megy előre. Forgásiránya tehát éppen ellenkező mint a légáram által hajtott szélmérőé, melynél forgás alatt a domboru (convex) lap van elől. Ez okból légáramok az ilyen radiometermozgást nem okozhatják, hanem csak eleven erők, melyek a sugárzás tartama alatt a testek felületén folytonosan fejlődvén a sugaraktól talált testre állandó hajtó erő gyanánt hatnak. Mint (szerinte) legegyszerűbb hypothesis-t a következőt állítja fel: Az aetherhullámzások által valamely test felületén kibocsátott (direct vagy reflectalt) sugarakkal együtt anyagi részecskék is bocsáttatnak ki a sugarak irányában. Az időegység alatt kibocsátott anyagi részecskék száma, tömege és gyorsasága függ a felület természeti viszonyaitól és a kibocsátott sugarak erélyétől és milyenségétől.

Ezen hypothesisből kiindulva okát adja annak, hogy félgömbalaku szárnyakból álló radiometereknél miért megy a forgásnál a homoru lap előre. Ugyanis a domboru oldal valamely elemi részétől kibocsátott sugarak az ezen pont körül képzelt féltekét egészen betöltik, holott a tulsó (homorú) lapon fekvő megfelelő ponttól kibocsátott sugarak egy kúp felelületen belől fekszenek, melynek nyílása csak 90° . A két sugárnyaláb tehát egy ellökő eredőt ad a convex lap javára.

Ha ilyen görbe lap egyik oldala sugaraktól találtatik, akkor ezen az oldalon általánosan véve több anyagi részecske bocsáttatik ki, mint az árnyékos oldalon. De a különbség annál kisebb, minél

vékonyabb a lap és anyaga minél jobb hővezető. Eszerint vékony görbe fémlapoknál a forgás irányára nézve egészen közönyös, hogy a sugarak melyik oldalra esnek, a homorura vagy a domborura. Az utóbbi esetben taszítás, a másokban látszólag vonzás a sugarak hatásának eredménye.

Hogy azonban a hypothesisnek megfelelően a sugarak ellökő ereje a homoru oldalra is kimutatható legyen, arra nézve csökkeneni kell a hővezetést a homoru és domboru oldal között; a mi eszközölhető a lemezek nagyobb vastagsága és olyan boríték által, mely a hőt rosszul vezeti és nagy sugárzó tehetséggel bír. E célra félhenger alakú aluminium lemezeket használt, melyek mind a két oldalon be voltak kormozva. Ha két ilyen szárnyal ellátott radiometer ernyővel felényire betakartatott és a sugarak a másik felére vezettettek, mindég erőyes taszítás volt az eredmény, bármely oldalára estek a sugarak, azon egyedüli különbséggel, hogy a forgás gyorsasága nagyobb volt, mikor a sugarak a domború oldalra estek. Ebből következik, hogy teljes sugárzásnál (az ernyő eltávolítása után) a radiometernek a nagyobb gyorsaság irányában forognia kell a két ellentett irányú ellökő erő különbségének megfelelő gyorsasággal, mit a kísérlet tényleg igazol.

Ezen tényekből következik továbbá, hogy valamely radiometer forgása annál gyorsabb leend, minél inkább növeltetik a kibocsátási folyamat (Emissionsprocess) az egyik oldalon és minél inkább csökkentetik az a másikon. Olyan radiometerek, melyeknek egyedül domboru oldalai bekormozottak, homoru oldalai pedig csillámlemezek által védvék, mint a kísérlet mutatja, rendkívül érzékenyek.¹⁾

3. Egy harmadik kísérlete által megmutatja, hogy ha létezik ilyen anyagi részecskék kibocsátása a természetben, akkor azok eleven ereje nem csak visszahatás (reactio), hanem közvetlen ütközés által is hozhat létre mozgást. E célra olyan radiometert készítettek, melynek szárnyai bekormozatlan egyenes csillámlemezekből állottak és a vízszintes laphoz 35° alatt hajlottak. A kereszt alatt, ahhoz lehetőleg közel tiszta aluminiumlemez volt vízszintesen meg erősítve. Az ilyen radiometer még borús időben is gyorsan forog,

¹⁾ Ilyen radiometert Crookes már az 1876. évi decz. 27-diki Comptes rendus-ben közölt.

holott ha az aluminium lemez hiányzik, a legerősebb napfényben is veszteg marad. A forgás iránya megfelel a fémlaptól kibocsátott részecskéknek, mint a szélmalomnál a szél irányának.

A kísérletet meg is fordította, be nem feketített aluminium szárnyakból álló mozoghatlan radiometerkereszt fölé függőleges tengely körül forogható tiszta csillámlemezt alkalmazott. Az utóbbi gyors forgásba jött egyik vagy a másik irányban, aszerint, hogy melyik bocsát ki több részecskét, az aluminium-e vagy a felül meglemegett üvegedény. Azután kimutatja, hogy az üvegedény belső oldalán történt emmissionál félgömbös csészékből álló radiometereknél a forgás iránya megegyező az anemometerével. Ha ilyen radiometert a napsugaraknak kiteszünk, ellenkezőleg forog mint a szélmérő; ha ezalatt kézzel melegítjük, forgása lassodik, megáll és azután ellenkező irányban kezd forogni.

4. Egy másik kísérleténél be nem kormozott csillámlemezekből álló radiometert használt, melyben a radiometerkereszt alatt kóralaku vízszintes platinahuzal volt a két végén beforrasztva, melynek kiálló végeit villamos elem sarkaival lehetett összekötni. Az így berendezett radiometer össze volt kötve egy higanylégszivattyúval és a platinahuzalba egy kis czink-szén elemnek az árama lett bevezetve. Az áram bevezetésénél 10 mm-nyi volt a nyomás a radiometerben; lassu forgás állott elő azonnal, de ellenkező irányú azzal, melyet az áram által hevített dróttól felszálló légáram előidézhetett volna. A további ritkításnál növekedett ezen rendellenes (anomalis) forgás gyorsasága és nem változott észrevehetően, ha az áram iránya a platinahuzalban többször változtatva is lett. Még mikor a nyomás már $\frac{1}{20}$ mm-nél is kisebb volt, ugyanaz maradt a forgás iránya, csak a gyorsasága mint ha már csökkent volna. De már a legközelebbi szivattyúzásnál hirtelen ellenkezőre, rendszerre (normalis) változott a forgás iránya, vagy is olyanra, milyent vagy a felszálló légáram vagy az áram hevítette dróttól kibocsátott részecskék előidézhettek. A gyorsaság már rendkívül nagy volt, úgy, hogy a radiometerkereszt egyes részeit már nem lehetett egymástól megkülönböztetni.

Erre a tüneményre Zöllner megjegyzi, hogy talán a radiometerben visszamaradt gázoknak a villamos platinahuzal felületén

történt elnyeléséből lenne kimagyarázható és hozzá teszi, hogy ezen kísérleteket más fémekkel is szándékozik tenni.

Magam is rendelkezem két ilyen radiometerrel, melyek közül az egyik az anomalis, a másik a normalis forgást mutatja. A többi fentebb említett tüneményt is észleltem Goetze-től¹⁾ hozatott radiometereknél.²⁾

És most azon kísérleteket lesz szerencsém a tisztelt szakosztálynak bemutatni, melyeknél a radiometermozgás villamos sugárzástól, azaz villamos részecskék eleven erejétől származik. Először is a bonni dr. Geissler következő kísérletét. A híres üvegfüvő olyan radiometert készített, melynek mind a két oldalon tisztán hagyott aluminium vagy csillámszárnyai függőlegesen állottak. A radiometer golyóhoz oldalt két átellenes ponton rövid üvegesövek voltak forrasztva, akként, hogy ezeknek közös tengelye az egyik szárnylapra merőlegesen állott. A csövek végén rövid platinahuzal van beforrasztva. A levegő körülbelül 1 mm-ig van ritkítva. Ha e készüléken egy kis Ruhmkorff inductioárama átvezettetik, a radiometerkereszt forogni kezd olyan irányban, mely a pozitív (?) saroktól kibocsátott részecskéknek felel meg. Ilyen irányúnak mondja a forgást Reis is egy kis füzetkében, melyet 1878-ban a Holtz-féle influenz gépről és a Gramme gépről kiadott. Maga Zöllner³⁾ sem tesz más megjegyzést erre, mint egy kérdő jelt a pozitív szó után.

A helybeli egyetem természettani intézetében levő, aluminium szárnyakból álló radiometernél nagyobb fajta inductor használatánál mindig ellenkező irányú forgást észleltem, mely a nemleges sarktól történt villamos emissionak megfelel. Ez megegyezik egy alább közlendő Crookes-féle kísérlettel, mely szerint a negatív sarktól ki-sugárzó anyag taszító erővel bír. Az áram megfordításánál a radiometer is ellenkező irányú forgásba jön. Ezen kísérletet Zöllner a kibocsátási elméletre nézve fontosnak tartja, mivel ezen különleges esetben a radiometermozgás kibocsátási folyamat által hozatik létre.

1) Robert Goetze. Leipzig, Albertstrasse 22. (11 darab különböző radiometer 70 Márk.)

2) Ezen tünemények egy része be is mutatott a szakosztálynak.

3) Az ő készüléke csillámszárnyakból állott.

Crookes legujabb nevezetes kísérletei, melyeket 1879. augusztus 22-én az angol természetvizsgálók Scheffield-en tartott gyűlésén bemutatott, a következők:

1. Ismert dolog, hogy közönséges Geissler csöveknél az inductioáram átvezetésénél a negatív sarkot sötét tér veszi körül és csak ezen túl következik a positiv sarkig terjedő színes gázoszlop. Minél nagyobb a ritkítás, annál tovább terjed a sötét tér, míg végre bizonyos magas fokú ritkításnál az egész csövet betölti. Ilyen nagy mértékben ritkított csövekben észlelte Crookes a leirandó érdekes tüneteményeket. E tüneteményt mutatja ezen eső, melynek közepén merőlegesen a eső tengelyére kerék aluminiumlemez (vagy más fém) áll; a két végén platinahuzal van beferrasztva. Ha a lemezt egy Ruhmkorff-féle inductor negatív sarkával, a két platinahuzalt pedig a positiv sarkkal összekötöm, akkor egészen más tüneteményt észlelhetünk, mint a közönséges (mérsékelt ritkított) Geissler csöveknél. A színes (ritkított levegőnél vörös) fény, a villanyszikra látható jele, teljesen hiányzik, a sötét tér az egész csövet elfoglalja, a villanyszikra már át nem mehet a csövön. Az ennyire ritkított (majd nem légiures) tér a legerősebb inductor iránt olyan, mint egy szigetelő (isolator).

2. De azért más tünetemény ötlük szemünkbe. A negatív electroddal szemben a eső két végén élesen határolt fénylő foltok láthatók sárgás-zöld színben. Ezen élénk phosphorescens-fény Crookes szerint úgy származik, hogy a negatív sarktól nagy sebességgel visszapattanó villanyos gázmolekulák az üvegbe ütközve hő és fényrezgéseket idéznek elő. A láthatatlan villanyos erély átalakul meleggé és fénynyé, mint mikor puskából kilőtt serétszemek egy szilárd falba ütköznek. A phosphorizálást különböző anyagoknál mutatja, különböző üvegnemeknél, rubinnál, gyémántnál, stb. Mindegyik más színben phosphorizál.

Itt van három üvegesövem, melyek rövid huzalok által egymással össze vannak kötve. A végső huzalokat az inductorral összekötve látható, hogy az egyik szép sárga, a másik zöld, a harmadik kék színben ragyog. Ezen rövid púpos üvegesöben spodumendarabok vannak. Ha a kiálló platinahuzalokat az inductor sarkaival összekötöm és az inductort működésbe hozom, szép zöldes és egyes he-

lyeken aransárga fényben látjuk phosphorizálni ezen anyagokat. A fény még sokáig tart, ha az inductort hatályon kívül helyezem.

Az erély ezen átalakulására legkedvezőbb ritkítási fok az, mely Crookes szerint körülbelül egy milliomoda a légköri nyomásnak. Ezen nyomásnál legerősebb a phosphorescentia, ezen túl megint gyengébb, végre sem fénylő sem sötét átmenete a villanyosságának többé nem történik. Annak megmutatására, hogyan függ az üveg phosphorizálása a légritkulás fokától igen elmésen szerkesztett üvegcsövet használ, melynek egyik végén nyújtványa van; milyen a kezemben lévő cső is. A kinyuló részben szilárd kali causticum létezik és a levegő a csőben nagy mértékben meg van ritkítva. A két végéből kiálló platinahuzalt összekötve az inductorral semmi jelenség nem mutatkozik, az üres cső nem vezeti a villanyosságot. Ha a kálit lánggal hevitem és ezáltal egy kevés vízgőzt felszabadítok, azonnal beáll a vezetés és a phosphorescentia a cső egész hosszában felvillan. További hevítésnél a zöld fény gyöngébb lesz és a helyett felhős, réteges, vöröses fény tölti be a csövet, mely gyorsan sűrűbb lesz és végre vékony biborvonallá átalakul. Ha most a lángot eltávolítom és a kálit hűlni hagyom, akkor ez a gőzt lassankint megint elnyeli; a biborvonal kiszélesedik és finom rétegekre oszlik. Most a cső végén zöld fény látszik és az utolsó vörös fényréteg a káli felé eltűnik és a cső újra egész hosszában zöld fényben ragyog. Még további hűlésnél eltűnik végre ez is és a mikor minden nyoma a vízgőznek eltűnt a cső megint elveszti villanyvezető képességét. Ezen rendkívül érdekes tünemény valóban meglepő szépek mondható.

3. Azután néhány elmés kísérlet által megmutatja, hogy a negatív sarktól ellökött villanyos molekulák az ilyen nagy mértékben ritkított csőben egyenes vonalban haladnak, míg ebben a fal által nem gátoltatnak.

a) Az egyik kísérletnél ∇ alakú csövet használ, a milyen ez itt, melynek száraiba rövid platinahuzal van beferrasztva. Ezeket az inductorral összekötve, mint az urak láthatják, mindig csak azon szár telik meg a phosphorescenzfényvel, melynek huzala épen a negatív electrodot alkotja. A villanyos sugarak, vagy miként Crookes mondja, a sugárzó anyag nem kerüli meg a hajlást, hogy a másik szárba juthatna.

b) Egy másik kísérletnél két teljesen egyenlő golyóalakú ké-

szüléket használ, melyekbe négy platinahuzal van beforrasztva, egyik fölül, egyik alól, a másik kettő oldalt. Az utóbbiak egyike egy kis aluminium tükörrel van ellátva. Az egyik golyó közönséges módon, a másik nagy mértékben körülbelül egy milliomod atmosphaeráig van légüresítve. Ilyen két golyót¹⁾ is mutathatok a tisztelt szakosztálynak. Először azt fogom használni, melyben a levegő csak mérsékelten van megritkítva. A tükörrel ellátott drótot negatív electrodeknak téve, a többit egyenkint fogom az inductor pozitív sarkával összekötni. Az ibolyaszínű vonal, mely a két sarkot összeköti, a mint látják, változik, ha az igenleges sark helyét változtatom. A villanyos szikra mindig a legrövidebb utat keresi a két sark között.

Egészen más a tünemény a másik golyóban. Itt is a tükörrel ellátott huzalt teszem negatív sarkká és p. o. a felsőt igenleges sarkká. A negatív sarktól áramló villanyos sugarak a tükör gyupontjában (körülbelül a golyó közepén) találkozáván a szemközti falrészbe ütköznek és itt phosphorizáló kerék foltot támasztanak, mely élénk fénye miatt jól látható. Ezen folt helye nem változik, ha mindjárt a pozitív sarkot alól vagy oldalt alkalmazzuk. Ilyen magasfoku vacuumnál tehát közönyös a pozitív sark fekvése, a villanyos sugarak mindig merőleges irányban bocsáttatnak ki a sarklaptól; holott mérsékelt vacuumnál nagyon is függ tőle a villanyszikra útja.

Megvizsgálván a helyet, hová ezen sötét villanyos sugarak estek, azt igen melegen találjuk, sőt ha azokat tükörrel egy kis helyen összegyűjtjük, az üveget, mint Crookes mutatta, meg is olvaszthatják. A sugárzó anyag meleget gerjeszt.

c) A villanyos sugarak egyenes irányát továbbá azzal bizonyítja, hogy a sugarak útjába hozott átlátszatlan test maga után árnyékot vet. E czélra körtve alakú edényt használt, milyen ez, melyet kezemben tartok, melynek keskenyebb végén beforrasztott tükör negatív sarkká választatik. Ezzel szemközt közel a cső másik végéhez aluminium kereszt áll, mely egy kis lökés által fekkentes helyzetbe hozható. Ez pozitív sarkká tétetik. A negatív sarktól áradó villanyos anyag a cső széles végén phosphorizáló foltot rajzol le és ezen belől látszik egy sötét kereszt, árnyéka az aluminium keresztnek.

¹⁾ Ezen készülékeket dr. Geissler utódjától hozattam Bonnól. A czélnak kitűnően megfelelnek.

4. Hogy e villanyos erély mechanikai mozgást előidézni képes, ezt olyan esővel mutatja, melyen belől finom ezüstlapátokból és vékony üvegtengelyből álló kis kerék létezik. A kerék a cső tengelyével egyenközü vékony üvegsíneken foroghat. A cső két végén a tengely fölött apró tükrökben végződő platinahuzalok vannak beforasztva úgy, hogy a tükrök egymással szemközt állanak és közös tengelyük a felső lapátokat találja. Ha a esővet vízszintes helyzetbe hozom, az electrodokat az inductiotekeres végeivel összekötöm és az inductort működésbe hozom, a kerék forgásba jön a negativ electródtól a positiv felé. A sarkokat változtatva, azonnal a kerék is ellenkező irányban forog.

Ugyanezt bizonyítja a következő kísérlet által is. Radiometer alaku edényben a kereszt szárnyai 45° alatt hajló tiszta csillámlemezekből állanak. A kereszt alatt köralaku vízszintes platinahuzal létezik, melynek végei az edényből kiállanak. Fölül is be van forasztva rövid platinahuzal. Ha az alsónak végeit az inductor negativ sarkával, a felsőt pedig a positivval összekötöm, azonnal forogni kezd a kereszt, az áramló anyag befolyása alatt. Ha most az inductort mellözve a köralaku huzal végeit egy Bunsen elem sarkaival összekötöm, szintén forgásba jönnek a szárnyak. A hevített drótból tehát ép úgy áramlik az erély, mint az inductio tekercs negativ sarkától.

Érdekesnek és a villanyos kibocsátási elmélet mellett tanuskodónak tartom a következő észleletemet, melyet e napokban egy csillám szárnyakból álló normalis forgásu (lásd a 4 alatt leírt Zöllner-féle kísérletet) radiometeren tettem. Ezen radiometer a teljes napfényben sem mozog. De ha alatta vagy fölötte a radiometer edényen kívül, de ahhoz elég közel a kisütő hegyes végei között rövid távolságra inductioáramot elvezettem, a radiometer forgásba jött és pedig ha az inductioszikrák a szárnyak alatt keletkeztek, a forgás az óramutató irányában történt; ha a szikrák fölül voltak, a szárnyak ellenkező irányban forogtak. A forgás iránya meg nem változott az inductioáram többszöri megfordításánál.

Ha meggondoljuk, hogy ezen radiometer a teljes napfényiránt is érzéketlen, úgy nagyon valószínű, hogy ezen esetben az üveg belső felületéről kiáramló villanyos részecskék eleven ereje hozza forgásba a szárnyakat és pedig a szerint, a mely oldal felől azok a szárnyakat meglökik, egyik vagy a másik irányban.

Egy abnormalis forgású ilyféle radiometer a külső inductioszikkák befolyása alatt nyugalomban maradt.

Zöllner a fentebb idézett munkája vége felé elméletének fejtegetésében az általa már 1876-ban kimondott hypothesisit citálja, hogy valamennyi testnek utolsó elemeit a kétféle villanyosságú részecskék teszik és hogy az általános nehézkedés (gravitatio) sem más, mint a testek ezen legutolsó parányai villanyos távolhatásainak egyensúlytani eredője. E szerint folytatott disgregationál, azaz a testmolekulák mind további részletezésénél és elemi felbontásánál végre az utolsó részecskék villanyos tulajdonságai fel fognak lépni.

Tovább így folytatja. Ha egy radiometer üvegedényét egy helyen kívülről melegítjük, akkor ezen helytől az edény belsejében villanyos részecskék fognak árasztatni minden irányban, melyeknek egy része positiv, másik része pedig negativ villanyossággal bír. Mig ezen ellentétes villanyosságú részecskék egymással egyenletesen keverve vannak, addig egymás hatását megsemmisítik. Ha pedig sikerülne, kívülről alkalmazott villanyos test által, mint az influenzahatásnál, a villanyos részecskék közül p. o. az igenlegeseket az üvegfaltól való áramlásban meggátolni, akkor nemleges (a külsővel egy-mű) villanyossággal bíró részecskék hatása alkalmas körülmények között érvényre juthat.

Ezen kísérlet, melyet Zöllner a kibocsátott részecskék villanyos természetére nézve döntőnek tart, Crookes¹⁾ által végre is hajtatott és ezáltal, a mint Zöllner mondja, az általa felállított villanyos áramlási elmélet az utolsó bizonyítékot nyerte. A kísérlet a „Beiblätter zu den Ann. d. Phys. u. Ch.“ 1879. N. 9. 712 l-ban így van leírva:

„Angol ólomüvegből fujt üres golyó felső pontján be volt eresztve függőlegesen egy üvegrúd, melynek alsó végén két aranylemezke párhuzamosan csüngött a golyóban. A levegő az utóbbiban egy légköri nyomás egymilliomodán túl is volt ritkítva. . . . Az egyik lemezzel szemközt kívülről alkalmazott forró test a lemezpárt eltaszította, a nélkül, hogy azok széthajlását előidézte volna. A kihülés után a lemezpár visszatért a függőleges helyzetbe. Ha azután a forró testtel együtt ugyanazon oldal felől óvatosan villanyos test (ebonitrud) is oda tartatott, erőlyes hatás mutatkozott, a lemezek hirtelen, mint valami láthatatlan villanyos kísütés következtében széthajlottak. Ezen széthajlás az ebonitrud eltávolítása után is megmaradt és a kihülés után sem enyészett el. Csak a mikor az üveggolyó erősen hevítettet, estek össze ismét a lemezek.

¹⁾ Lásd Proc. of. the Royal Society. XVIII p. 347—352 (1879).