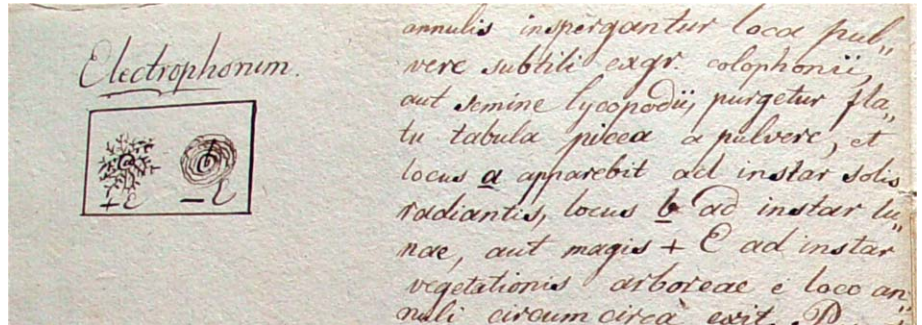


# LICHTENBERG-ÁBRÁK KELTÉSE BOLYAI FARKAS IDEJÉN ÉS MA – 1. RÉSZ

Gündischné Gajzágó Mária  
Hatvan

Bolyai Farkas fizikai és csillagászati jegyzeteinek kiadásával<sup>1</sup> nem csak nagy matematikusunk és híres tanárunk jegyzeteinek dokumentumszerű bemutatását céloztuk meg, hanem azoknak „életre keltését” is. De mit jelent az „életre keltés” a 150-200 éves tankönyvet helyettesítő fizikajegyzetek esetében? – Elsősorban a jegyzetek feladatainak megoldását, az ott leírt kísérletek átgondolását, újbóli elvégzését. E törekvésünket példázzák könyvünk „szerkesztői kiegészítés” címmel jelölt részei. Hasonló szándék vezetett e cikk megírására is. Egy szinte elfelejtett, de Bolyai Farkas korában nagyon is divatos elektrosztatikai kísérletet szeretnénk a következőkben feleleveníteni. De azt is szándékozunk megmutatni, hogyan lehet korunk modern anyagtechnikai lehetőségeit felhasználva házilag készített eszközökkel Lichtenberg-ábrákat létrehozni.<sup>2</sup>



1. ábra. Lichtenberg-ábrák, részlet Bolyai latin nyelvű jegyzetéből.

## Lichtenberg-ábrák Bolyai jegyzeteiben és Baumgartner könyvében

Az 1847 júniusában írt, *Néhány kérdés a villanyról* című Bolyai-jegyzet elején olvashatjuk:<sup>3</sup> „Ha egy simán öntött spanyolviasz vagy szurok táblára két gyűrűt tétetik, egymástól bizonyos távra; az egyik berzített üveggel, a másik berzített spanyolviaszszal érintetik, s péld. licopodium hintetvén reá, a felesleg lefuvatik, az üveggel érintett kerekén sugárzó alaku lesz, a másik magába vonulo hold. Honnan amazt üvegberznek, ezt szurokinak hívják; sőt azt napinak, ezt holdinak Franklin azt + $\epsilon$ , ezt - $\epsilon$  nek nevezte.” (I. kísérlet)

Egy latin nyelvű Bolyai-jegyzetben hasonló leírást találunk az itt leírt kísérletre, és mellette egy szép rajtot (1. ábra) is.<sup>4</sup>



Gajzágó Mária a kolozsvári Babeş-Bolyai Egyetem Fizika Karán szilárdtestfizika szakon végzett, majd 1980-ban ugyanott szerzte az I. tanári fokozatot. 1986-ig, 15 éven át a marosvásárhelyi Bolyai Farkas Liceumban, 1987-től Szombathelyen, Békéscsabán és Hatvanban tanított. 1983-tól kutatja Bolyai Farkas kéziratban maradt fizikajegyzeteit. 2013-ban jelent meg – férjével, Gündisch Györggyel és Szenkovits Ferencsel írt – *Bolyai Farkas fizikája és csillagászata* című könyve.

Ezt a kísérletet Georg Cristoph Lichtenberg végezte el, és 1778-ban latin nyelvű előadásában mutatta be Göttingenben, amint azt Abraham Gotthelf Baumgartner *Természettanában* olvashatjuk.<sup>5</sup> Szerinte Lichtenberg közvetlenül a gyanta (szurok) felszínét érintette meg elektromozott üveggel, illetve elektromozott gyantával, majd finom porral beszórva első esetben sugárszerűen elágazó alakzatot kapott stb. Ezekről írja Baumgartner: „A Lichtenberg-ábrák meggyőzően szemléltetik a kétféle elektromos állapot – du Fay által már korábban felfedezett – különbözőségét.” Majd így folytatja: „Az a tény, hogy a növények színére az üveg elektromosság savként, a gyanta elektromosság pedig lúgként hat, – egyes szerzők szerint – szintén a kétféle elektromosság közti különbséget mutatja.”

Baumgartner „Glaselectricitát” és „Harzelectricitát”-ről beszél. Itt hívnám fel a figyelmet arra, hogy Bolyai Farkasnál a „berz”, „berzített” szavak az „Electricitát” és „electrisiert” szavak fantáziadús megfelelői. A „napi” és „holdi” kifejezéseket Bolyai valószínű Lichtenbergtől vette át. Az „üveg-” és „napi berz” a pozitív; a „szuroki-” és „holdi berz” a negatív elektromosságot jelentik. Ezekkel a Bolyai Farkas által kitalált új szakszavakkal sem nyelvújító kortársainál, sem a későbbi

<sup>1</sup> Gündischné Gajzágó Mária, Szenkovits Ferenc, Gündisch György: *Bolyai Farkas fizikája és csillagászata. Másfél évszázada lappangó kéziratok*. Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest, 2013. (Beszerezhető a MATI-nál, e-mail: tudomanytortenet@gmail.com).

<sup>2</sup> Ez utóbbi törekvés megvalósításában önzetlenül segített Bíró Tibor fizikatanár, volt kollégám, a Marosvásárhelyi Sapientia Egyetem ma is aktív alkalmazottja. Ezúton szeretném megköszönni közreműködését.

<sup>3</sup> Lásd a könyv 189. oldalát, B 561/6 (Ez utóbbi szám a jegyzet könyvtári jelzete a Teleki-Bolyai Könyvtárban Marosvásárhelyen.)

<sup>4</sup> Lásd a könyv 189. oldalát, B 649/2v. A jegyzet első sora: „Inter elementa inponderabilia quod numeratur tertium? Materia electrica ...”

<sup>5</sup> A. Baumgartner: *Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustände mit Rücksicht auf mathematische Begründung*. Wien, 1826, 418–9. o., 265–6. §.

magyar nyelvű fizikai szakirodalomban nem találkoztam. Ezen nem csodálkozhatunk, hiszen Bolyai fizikatanári jegyzetei nyomtatásban annak ellenére nem jelentek meg, hogy évtizedeken át használták azokat a Marosvásárhelyi Református Kollégiumban.

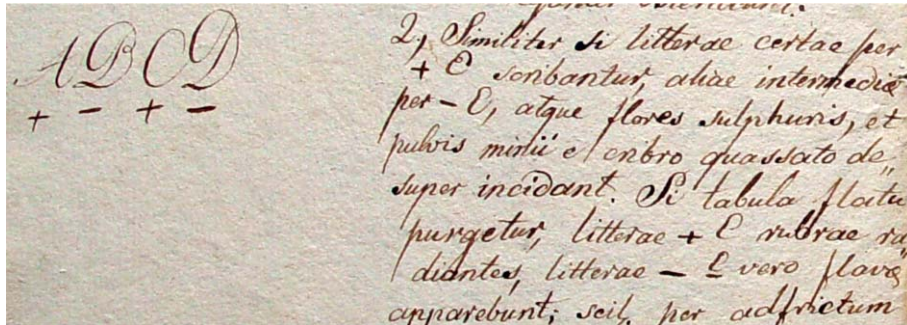
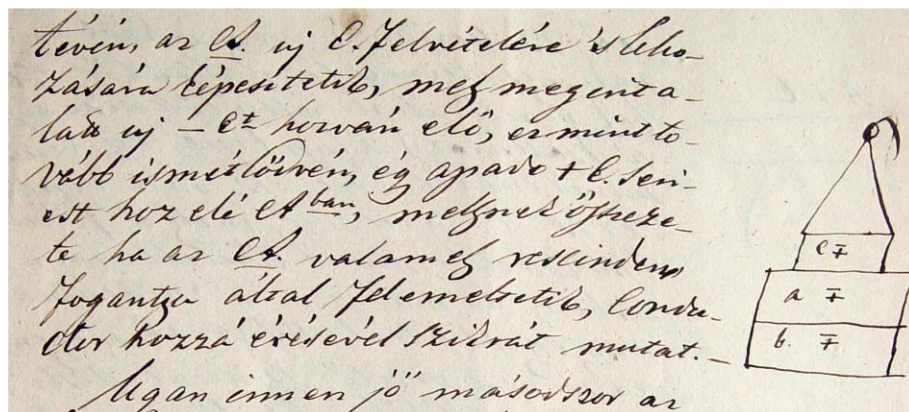
A *Néhány kérdés a villanyról* című Bolyai-jegyzet elején olvashatjuk még: „Továbbá ha egy simán öntött spanyolviasz vagy szurok táblára, egymás után betük irodnak, az első berzített üveggel, a másik berzített spanyolviaszsal s ugy tovább; és minium s kénvirág elegyül szítaltatik reá, az 1, 3, 5-ik esat. betű veressen jelenik meg; a 2, 4-ik esat. sárgán, ha a feleslegi por lefuvatik.” (II. kísérlet)

Az itt leírt kísérlethez tartozik a mellékelt, 2. ábra a már említett latin nyelvű Bolyai-jegyzetből, ahol a számok helyett betűk szerepelnek.

Baumgartner leírásában<sup>6</sup> sima gyantafelületre fémből, illetve elefántcsontból készült tárggyal kell írni, majd bizonyos magasságból minium- és kénpor keverékével beszórni. A fémmel írt helyeken a gyanta pozitívan, az elefántcsonttal írt helyeken pedig negatívan töltődik fel. A miniumpor levegőben esve pozitív, a kénpor negatív töltésű lesz; így a kénpor a fémmel írt betűket, a miniumpor az elefántcsonttal írottakat fedi be. (Megjegyezzük, hogy mindkét Bolyai-jegyzetben a sárga és vörös színeződés felcserélődött.)

A Bolyai által leírt két kísérletet először egy megdörzsölt üveg-, illetve ebonitrúddal próbáltuk elvégezni. Sajnos eredménytelenül. Valószínűleg az üveg-, illetve ebonitrúd dörzsölésével nem nyertünk elegendő mennyiségű töltést. Ezért áttértünk az elektrofor használatára. Ennek szükségességét különben az a körülmény is sugallta, hogy a latin nyelvű jegyzet Lichtenberg-ábrája fölött az „Electrophorum” szó olvasható.

3. ábra. Az elektrofor vázlatja Bolyai Farkas *Néhány kérdés a villanyról* című, 1847-ben írt kéziratából. *b* fémlap, például pléhtepsi; *a* dörzsöléssel feltölthető pogácsa, például spanyolviasz; *c* töltések szállítására szolgáló fémlap, például óntányér.



2. ábra. Részlet az előbbi, latin nyelvű Bolyai-jegyzetből, a kísérlet során a pozitív töltésű betűk vörösen, a negatív töltésűek sárgán színeződnek.

## Bolyai Farkas, Baumgartner és Lichtenberg elektrofor-ismertetései

Nézzük meg először az elektrofor felépítését és működési elvét a fentebb említett, 1847-ben írt Bolyai-jegyzetben található leírás és vázlat (3. ábra) alapján.<sup>7</sup>

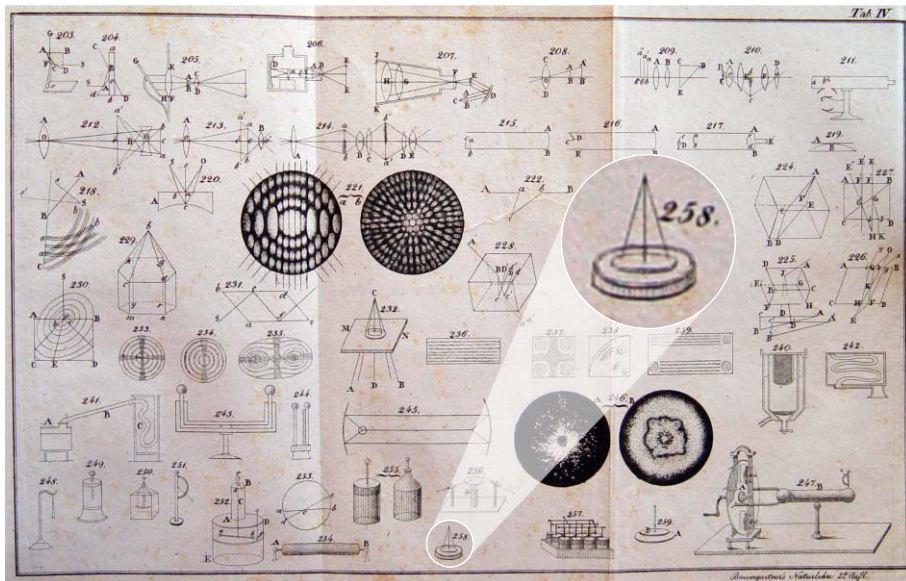
Az „electrophorum” vázlatán „*b*. berzvezető, péld: egy pléh tepsi, *a*. egy belé öntött sima színű spanyolviasz pogácsa vagy szurok placinta (placenta), *c*. berzivivő, péld: egy sima ón tányér; az *a*. nevezetik placentanak, a’ *b*. patina’nak, a *c*. clypeusnak, – az utobbi, valamely rescindens, péld: selyem szálak által, csigán fel ‘s le bocsáttathatik. Ha a szurok placenta színe megveretik róka farkkal –  $\epsilon$  ered, melly *c*.-ben + zónát csinál distributio által, ... ekkor, ha *c*-hez érek, ... ‘s ha azután felemelem, + $\epsilon$ -t kapok; ha pedig hozzá nem értem ‘s úgy emelem fel in statu naturali lesz.”

Ma ezt – kissé tömörebben fogalmazva – így mondanánk: ha a pléh tepside öntött spanyolviasz- vagy gyantapogácsa sima felszínét rókaprémmel megcsapkodjuk, ráhelyezzük az óntányérra, majd ujjunkkal megérintjük, s végül selyemszálakkal az óntányérra felemeljük, az óntányér pozitív lesz. Ha érintés nélkül emeljük fel, az óntányér semleges marad. Magyarán: a spanyolviasz vagy gyanta rókaprémmel dörzsölve vagy csapkodva negatívan töltődik fel (az *a* pogácsa felszínén negatív töltések jelennek meg), a ráhelyezett *c* óntányéron elektromos megosztás történik, az elekt-

ronok a *c* óntányér felső felületére taszítódnak, az óntányér alsó felülete pozitív töltésű lesz. Ha ujjunkkal megérintjük az óntányérra, az elektronokat onnan elvezetjük, a pozitív töltések a spanyolviasz felszínén lévő negatív töltések vonzása miatt maradnak, így a tányér pozitív lesz felemelése után is. Ha érintés nélkül emeljük fel, a megosztás megszűnik, az óntányér semleges lesz.

<sup>6</sup> Ugyanott: 420. o., 268. §.

<sup>7</sup> Lásd a könyv 192–3. oldalát, B 563/3.



4. ábra. Az elektrofor rajza Baumgartner 1826-ban kiadott *Die Naturlehre...* című könyve ábramelékletének 4. tábláján. A rajz alsó része a fémből készült forma, rajta a gyantapogácsa, felül a fémfedél a selyemzsinórokkal.

Baumgartner tömör leírást és rajtot<sup>8</sup> (4. ábra) is ad az elektroforról: „Különösen fontos műszer a Wilke által feltalált és Volta által tökéletesített elektrofor. Ez egy vezető (fém) *formába* öntött sima felszínű gyanta *pogácsából*, valamint egy lekerekített, kisebb méretű, szintén vezető (fém) *fedélből* áll. A fedél *selyemzsinórokkal* emelhető, illetve súllyeszthető.”

A készülék leírását működésének részletesebb, egy oldalnyi magyarázata követi, valamint az a megjegyzés, hogy az elektrofor eredményesen hasznosítható gyűjtőkészülékeknel és leideni palackok feltöltésére is.

Lichtenberg<sup>9</sup> részletesebben ismerteti a „beständiger Electricitätsträger” (Electrophorus perpetuus) felépítését. A „beständiger”, „perpetuus” jelzők arra utalnak, hogy a fedéllel ismételt töltéslevétel lehetséges, ha az

5. ábra. Elektrofor macskaprémme, 1780 körül, Göttingeni Egyetem Fizikai Intézete.



újából a pogácsára tesszük, megérintjük, majd leemeljük. Lichtenbergnél a *forma* kör alakú fémlemez vagy sztaniollal, illetve aranypapírral bevont deszkalap. A *pogácsa* burgundi gyanta, kolofonium, vörös pecsétviasz vagy terpentint tartalmazó gumilakk, amit megolvastva öntöttek a formába. A *fedél* szintén kör alakú fémlap, vagy vászonnal, esetleg bőrrel, végül sztaniollal bevont könnyű falemez. Az *alap* vagy *forma* úgy 18 hüvelyk, azaz körülbelül 46 cm, a *fedél* pedig 14 hüvelyknyi, vagyis körülbelül 36 cm (5. ábra).<sup>10</sup> A fedél selyemzsinórokkal, vagy a fogantyúként hozzá erősített üvegcsővel emelhető fel. A szigetelő fogantyúval ellátott fedél használata előnyös, hi-

szén így a fedél, a tulajdonképpeni töltésszállító, a vízszintestől eltérő helyzetekbe is hozható.

Baumgartner és Lichtenberg is megjegyzi, hogy gyantapogácsa helyett a dörzsöléskor pozitívan feltöltődő üvegtábla is használható. Mivel azonban az üveg nem képes az elektromosságot elég hosszú ideig megtartani, levegőréteget kell helyette alkalmazni. Ezt valósítja meg *Joseph Weber* a „levegős elektrofor”-ral, amelynél a léckeretre kifeszített macskaprém könnyed súrolással éppen úgy feltölthető mint az üveglemez. Weber<sup>11</sup> több mint 220 éves könyvecskéjét ajánlom e téma iránt érdeklődőknek, akik 74 oldalon 24 kísérlet gót betűs, de áttekinthető leírását digitális formában olvashatják számítógépük képernyőjén, időutazást tehetnek az elektromosság születésének évtizedeibe.

## A Lichtenberg ábrák felfedezése<sup>12</sup>

Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799), a göttingeni egyetem híres fizika és csillagászat professzora abban a reményben, hogy nagyobb méretű elektro-

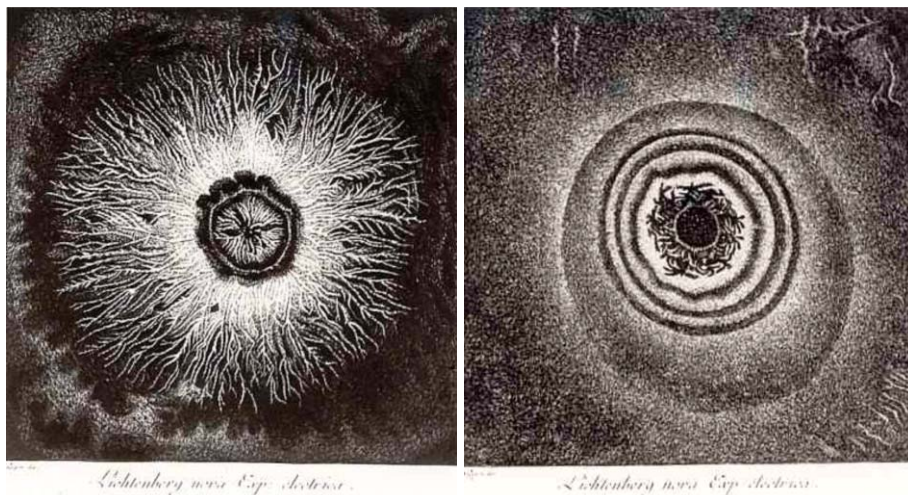
<sup>8</sup> Baumgartner említett könyvében 435. o., 297. §, 258. ábra (az elektrofor részeinek német megnevezései: Form, Harzkuchen, Deckel). *Johann Karl Wilke* 1762-ben Wismarban felfedezte, *Alessandro Volta* 1771-ben a comói Paviában továbbfejlesztette az elektrofort.

<sup>9</sup> *Anfangsgründe der Naturlehre. Entworfen von J. C. Policarp Erleben. Mit Zusätzen von G. C. Lichtenberg. 5. Auflage. Göttingen, 1791., 482–8. o., 538.b – 538.f §.*

<sup>10</sup> [http://www.lichtenberg-gesellschaft.de/leben/l\\_wirk\\_phys.html](http://www.lichtenberg-gesellschaft.de/leben/l_wirk_phys.html)

<sup>11</sup> Elegendő a „Joseph Webers positiver Luftphelektrophor” cím begépelése, <https://books.google.hu/books?id=j3I5AAAACAAJ&pg=PA23&lpg=PA23&dq=Webers+Luftphelektrophor&source=bl&ots=yZEDEi1tFJ&sig=0szkDHvYIsDKjRZrYKYaDjnUky8&hl=hu&sa=X&ved=0CDMQ6AEwA2oVChMIgY-7mtjzxwIVyV0UCh0YzggK#v=onepage&q=Webers%20Luftphelektrophor&f=false>

<sup>12</sup> Jelen fejezet, a közölt ábrák és idézetek netes forrása: [http://www.lichtenberg-gesellschaft.de/leben/l\\_wirk\\_phys.html](http://www.lichtenberg-gesellschaft.de/leben/l_wirk_phys.html)



6. ábra. Két eredeti, G. C. Lichtenberg által keltett ábra az 1777 áprilisától 1778 májusáig tartó időszakból.

hintés esetén, azok újra előjönnek, gyakran 4-5 nap eltelte után is.”

E sorokban felismerhetjük napjaink másológépei és lézernyomtatói elvi alapjainak csírát.

Lichtenberg csak 10 hónappal később, 1778. február 21-én mutatta be az elektroforral és leideni palackkal keltett ábrákra vonatkozó kísérleteit a Göttingeni Királyi Társaság tudósai előtt. A dolgozat címe: *Új módszer az elektromos anyag természetének és mozgásának vizsgálatára*.<sup>13</sup>

Következzék egy kísérleti leírás Lichtenberg nevezetes előadásából. „Ebonit- vagy közönséges gyantatáblára állítsunk csiszolt végű kis fémcsövet. Vigyünk pozitív töltést (+E) a csőre. Ha a csövet pusztá kézzel megfogva eltávolítjuk, és a táblára port szórunk, a táblán sugárzó nap jelenik meg.” – Lásd a 6. ábra bal oldali, csillagszerű alakzatát. – „Ha a csövet szigetelő tárgy segítségével távolítjuk el, a csillagszerű alakzaton hiányzik az a fekete kör, ahonnan a sugarak az előbb kiindultak.”<sup>14</sup> (A koncentrikus körökből álló jobb oldali ábra kialakulásához negatív töltéseket kell a csőre vinni.)

forral eredményesebben kísérletezhet, 1777 áprilisában megépített egy 1,8 m átmérőjű elektrofort. Ehhez 26 kg gyantát használt fel, fedelét csigasorral emelte, és 40 cm-es szikrákat keltett vele, ami 200 kV kisülési feszültségnek felel meg.

„1777-ben tavasz kezdetén, közvetlenül az elektrofor elkészítése után szobám finom gyantaporral volt tele, amely készülékem alapfelületének gyalulása és csiszolása során szállt fel és aztán belepte a falakat, könyveket.” – meséli Lichtenberg, majd így folytatja: „Huzat esetén a por nagy bosszúságomra az elektrofor fedelére hullott. Amint később a fedelet gyakran a mennyezeten függeni hagytam, előfordult, hogy az alapfelületet nem egyenletesen fedte be a por, mint korábban a fedelet, hanem nagy gyönyörűségemre kis csillagokba, napocskába, ágacskákba stb. rendeződött, eleinte alig felismerhető módon. Ha azonban ezekre port szórtam, jól felismerhetők és szépek lettek, az ablaküvegek jégvirágaihoz hasonlóan.”

Lichtenberg szerette volna megérteni gyantaporral kapcsolatos megfigyeléseit, ezért kísérleteket kezdett végezni az érdekes alakzatok létrehozására. Megfigyelte például, hogy koncentrikus körök sokaságát tudja létrehozni egyetlen szikrával.

Lichtenberg áprilisi felfedezéséről professzortársa, korábban tanára *Abraham Gottbelf Kästner* számolt be a Göttingeni Akadémián 1777. május 3-án: „Legszébb ábrái közül néhányat Lichtenberg professzor megpróbált lerajzolni, de nemsokára feladta, mert rövidebb utat talált a másolásra. A porábrákra, ragasztós fekete papírt préselt, majd a lenyomatokat üveglemez mögé tette. ... Ami különösen figyelemre méltóvá teszi ezt az eljárást az az, hogy egy ilyen napocskáról például tetszőleges számú lenyomat készíthető, mert ha az ábrát alkotó port letöröljük, ismételt por-

7. ábra. Felül Kästner és Lichtenberg, alattuk tanítványaik: a fiatal Gauss és Bolyai Farkas.



<sup>13</sup> Az előadás eredeti, latin nyelvű címe: *De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi*.

<sup>14</sup> A kísérlet második részére vonatkozó eredeti ábra a 12. lábjegyzetben megadott forrásban nem áll rendelkezésre, különben a jelenség kísérletileg ellenőrizhető.

Lichtenberg előadásait 1796 és 1799 között Bolyai Farkas és *Carl Friedrich Gauss* (7. ábra) is élvezettel hallgatta. Az egy szemeszteres, 120 órás fizikakurzusán Lichtenberg körülbelül négyszázötven különböző kísérletet mutatott be. Ő tekinthető a modern bemutató kísérleti előadások atyjának. Gauss „Göttingen díszé”-nek nevezte őt. Az aforizmáiról is híres Lichtenberg hirdette és elvárta, hogy a természeti tünetények, kísérletek bemutatása, ismertetése ne csak

érdekes legyen, hanem esztétikai örömet is okozzon a hallgatóknak.

Befejezésül idézzük *Albert Einsteint*, amint Lichtenberget, a nagy kísérleti fizikust és természetfilozófust dicséri: „Senkit sem ismerek, aki olyan tökéletesen értene a növekvő fű hangját, mint Lichtenberg.”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Az eredeti idézet német nyelven: „Ich kenne keinen, der mit solcher Deutlichkeit das Gras wachsen hört wie Lichtenberg.”