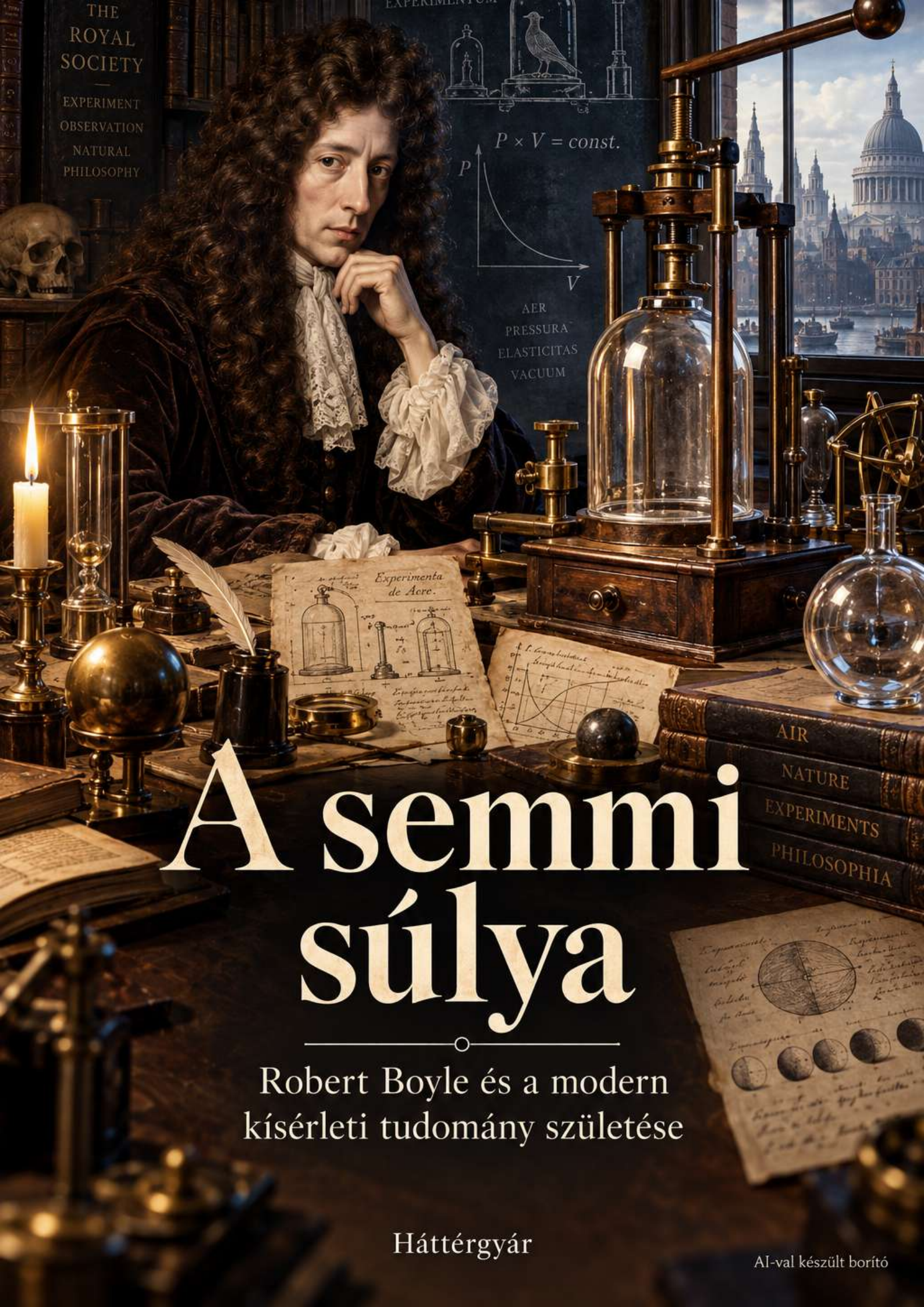


# A semmi súlya

## Robert Boyle és a modern kísérleti tudomány születése

Háttérgyár

AI-val készült borító

# A SEMMI SÚLYA

*Robert Boyle és a modern kísérleti tudomány születése*

© Háttérgyár, 2026

Minden jog fenntartva.

Kiadó: Háttérgyár

Kiadás éve: 2026

hattergyar.hu

Ez a mű szerzői jogi védelem alatt áll. Részleteinek bármilyen formában való sokszorosítása, terjesztése vagy nyilvánosan elérhetővé tétele a kiadó előzetes írásbeli engedélye nélkül tilos.

A borító mesterséges intelligencia felhasználásával készült.

HÁTTÉRGYÁR

# Tartalom

**Bevezetés** 5

**1. A levegő, amelyről senki sem tudta, mi is valójában** 6

**2. Lismore és az Earl fia** 10

**3. Robert Hooke és a nagy gép** 14

**4. Egy óra hangja a ritkuló levegőben** 18

**5. Lángok, állatok és a levegő szerepe** 21

**6. A higanyoszlop és a törvény, amelyet Boyle nem így nevezett** 24

**Kitekintés – Towneley, Power és a gáztörvény közös története** 27

**7. Hobbes ellen: lehet-e a kísérletből igazság?** 30

**8. A Royal Society: társaság a kísérlet körül** 33

**9. A kétkedő kémikus** 36

**10. Színek, savak és lúgok** 39

**11. Gyógyszerek, receptek és az emberi test** 42

**12. Isten, természet és a mechanikus világ** 45

**13. A láthatatlan részecskék világa** 48

**14. A kísérlet nyelve** 51

**15. Műszerek és mesterek** 54

**16. A vákuum látványossága** 57

**Kitekintés – Katherine Ranelagh és a láthatatlan tudományos hálózat** 60

**17. Oxfordból Londonba** 63

HÁTTÉRGYÁR

18. Levelekből épített Európa 66
19. A levegőből gázok lesznek 69
20. Nyomás, hőmérséklet és a gázok matematikája 72
21. Vákuum és villamosság 75
22. A semmi az iparban 77
23. A vákuum az űrben 79
24. Boyle halála és a kísérlet továbbélése 81
25. Barométerek és az időjárás új nyelve 84
26. Forrás hidegen: a nyomás és a hő találkozása 87
27. Hideg, meleg és a mérés problémája 90
28. Mágnesek a légszivattyú alatt 92
29. Boyle és az alkímia árnyéka 94
30. Kísérletek a természet történetéhez 96
31. Tudomány, pénz és függetlenség 98
32. Kísérlet és erkölcs 100
33. Boyle után: Lavoisier és a mérleg forradalma 102
34. Mit jelent ma Boyle törvénye? 104
35. Fény a ritkított térben 106
36. A reprodukálhatóság születő eszménye 108
37. Mérési hiba: amikor az adat nem pontos 110
38. A laboratórium mint társadalmi tér 112
39. Boyle Newton árnyékában és mellette 114
40. Hogyan lett Boyle-ból törvénynév? 116
41. A vákuum, amely már nem üres 118

HÁTTÉRGYÁR

**42. Boyle a tanteremben** 120

**Utószó – Mit tanított a semmi?** 122

**Kronológia** 125

**Felhasznált és ajánlott irodalom** 128

HÁTTÉRGYÁR

# Bevezetés

Négyszáz évvel Robert Boyle születése után a róla elnevezett gáztörvény még mindig minden fizikaoktatás része. Életművének jelentősége azonban jóval nagyobb annál, amit egy képlet elmondhat. Boyle abban a korszakban dolgozott, amikor a vákuum létezése még filozófiai vita tárgya volt, a kémia nem vált el élesen az alkímiától, a tudományos folyóirat új találmánynak számított, és a laboratóriumi kísérlet társadalmi hitelességét még meg kellett teremteni. Ez a könyv ezért nem pusztán egy tudós életrajza. Annak története, hogyan lett a mesterségesen létrehozott kísérleti helyzet a modern tudomány egyik alapvető bizonyítási formája. Boyle és Robert Hooke légszivattyúja körül a levegő, a hang, az égés, az élet és az anyag új módon vált vizsgálhatóvá. A kötet követi ezt az utat a tizenhetedik századi üvegcsövektől a mai vákuumtechnikáig, és közben azt a kérdést tartja szem előtt, amely Boyle egész pályáját összeköti: hogyan lehet megbízható tudást szerezni arról, amit közvetlenül nem látunk?

HÁTTÉRGYÁR

# 1. A levegő, amelyről senki sem tudta, mi is valójában

A tizenhetedik század embere minden pillanatban levegőben élt, mégis alig tudott valamit arról, mi veszi körül. A levegő nem látszott, nem lehetett megfogni, és a hétköznapi tapasztalat alapján inkább háttérnek tűnt, mint anyagnak. Ha fújt a szél, mozgott; ha vihar közeledett, rombolt; ha a tüdőből kifogyott, az ember fuldokolt. De hogy súlya van-e, összenyomható-e, részt vesz-e az égésben, továbbítja-e a hangot, vagy milyen kapcsolatban áll az élő szervezetekkel, arra nem létezett egységes válasz. A kérdés azért is volt nehéz, mert a természetfilozófia évszázadokon át olyan fogalmi örökségből dolgozott, amelyben az üresség, a vákuum lehetősége erősen vitatott volt.

Arisztotelész fizikája szerint a természetben valódi vákuum nem létezhet. A gondolat, amelyet később a „horror vacui”, a természet ürességtől való irtózásának formulájával foglaltak össze, rendkívül tartósnak bizonyult. A szivattyúk, szökőkutak és folyadékoszlopok működését sokáig úgy értelmezték, mintha a természet maga akadályozná meg az üres tér kialakulását. A magyarázat szemléletes volt, de nem adott választ arra, miért van határa annak, milyen magasra lehet egy folyadékot szivattyúzni. A reneszánsz és a kora újkor mérnökei egyre

több olyan helyzettel találkoztak, amelyben a régi nyelv már nem bizonyult elegendőnek.

A változás egyik kiindulópontja Galilei környezetében jelent meg. A toszkánai szivattyúépítők tapasztalták, hogy a víz körülbelül tíz méternél magasabbra nem emelhető szívószivattyúval. Galilei ezt a jelenséget még részben a régi fogalmak nyelvén próbálta leírni, de tanítványa, Evangelista Torricelli 1643-ban radikálisabb kísérletet végzett. Higannyal megtöltött hosszú üvegcsövet fordított egy higannyal teli edénybe. A higanyoszlop nem folyt ki teljesen, hanem bizonyos magasságban megállt, fölötte pedig látszólag üres tér maradt. Torricelli arra következtetett, hogy a higanyoszlopot nem valamiféle vákuumellenes erő tartja fenn, hanem a külső levegő nyomása.

Ez a gondolat alapjaiban változtatta meg a kérdésfeltevést. Ha a levegő nyomást gyakorol, akkor maga is fizikai testként vizsgálható. Ha pedig a higany fölött valóban nincs közönséges levegő, akkor a vákuum nem pusztán metafizikai lehetőség, hanem kísérleti állapot lehet. A vita ezzel nem zárult le. René Descartes és követői olyan finom anyagokkal töltött teret feltételeztek, amelyek a szem számára láthatatlanok. Mások az éter különféle változataival próbálták elkerülni a teljes ürességgondolatát. A kísérlet azonban új helyzetet teremtett: a

HÁTTÉRGYÁR

vákuumról többé nem lehetett kizárólag szövegek és fogalmak alapján vitázni.

Blaise Pascal Franciaországban továbbvitte Torricelli gondolatát. Ha valóban a levegő súlya tartja fenn a higanyoszlopot, akkor magas hegyen, ahol kevesebb levegő nehezedik a műszerre, az oszlop magasságának csökkennie kell. 1648-ban Florin Périer Pascal kérésére a Puy de Dôme lejtőin végzett méréseket, és az eredmények megfeleltek a várakozásnak. A légnyomás változott a magassággal. A levegő tehát nem egyszerűen környezet volt: súlya, nyomása és mérhető viselkedése volt.

Ebbe a változó tudományos világba érkezett Robert Boyle. Nem ő találta fel a vákuum gondolatát, és nem ő végezte az első légnyomási kísérleteket. Jelentősége abban állt, hogy az új kérdéseket módszeres kísérleti programba szervezte. A levegőt nem egyetlen tulajdonság alapján akarta leírni. Meg akarta nézni, mit tesz a hanggal, az égéssel, az állatokkal, a folyadékokkal, a mágnességgel és a mechanikai folyamatokkal. Ehhez olyan eszközre volt szüksége, amelyben a természet egy részét mesterségesen átrendezhette. A légszivattyú ilyen eszköz lett.

A történet ezért nem csupán egy fizikai törvény születéséről szól. Arról a változásról szól, amelynek során a természetfilozófus egyre kevésbé elégedett meg azzal, hogy megmondja, minek kell történnie a világban. Olyan

helyzeteket kezdett létrehozni, amelyek a természetben maguktól ritkán vagy egyáltalán nem fordulnak elő, majd figyelte, mi történik bennük. A kísérlet mesterséges volt, de éppen ezért tett láthatóvá olyan összefüggéseket, amelyek a hétköznapi környezetben rejtve maradtak. Boyle pályája ennek a tudományos kultúrának az egyik legfontosabb története.

HÁTTÉRGYÁR

# 2. Lismore és az Earl fia

Robert Boyle 1627. január 25-én született az írországi Lismore Castle-ben. Apja, Richard Boyle, Cork első grófja a kor egyik leggazdagabb és legbefolyásosabb brit alattvalója volt Írországban. A családi háttér Robert számára olyan anyagi biztonságot teremtett, amely ritka szabadságot adott neki: nem kellett egyetemi állásból, egyházi hivatalból vagy orvosi praxisból fenntartania magát. Ez a kiváltság később tudományos munkájának egyik fontos feltétele lett. Drága műszereket vásárolhatott, segédeket alkalmazhatott, laboratóriumot tarthatott fenn, és éveken át olyan kérdésekkel foglalkozhatott, amelyeknek nem volt közvetlen anyagi haszna.

A gazdagság azonban nem jelenti azt, hogy Boyle élete egyszerű lett volna. Nagy családban nőtt fel, és korán megtapasztalta a politikai és vallási feszültségeket. A brit és ír viszony, a polgárháború, a monarchia és parlament konfliktusa, a protestáns felekezetek közötti viták mind meghatározták a környezetét. Boyle gondolkodásában a vallás nem háttérmotívum volt. Egész életében komolyan foglalkoztatta a keresztény hit, a természet rendje és az isteni gondviselés viszonya. A későbbi történetírás sokáig hajlamos volt a tudós Boyle-t és a vallásos Boyle-t két külön emberként kezelni, holott számára a kettő egymással összefüggött.

HÁTTÉRGYÁR

Gyermekkorában Etonban tanult, majd bátyjával hosszabb európai utazásra indult. A kor arisztokrata ifjai számára a kontinensen tett tanulmányút a nevelés része volt, Boyle azonban ennél többet vitt haza belőle. Genfben, majd Itáliában szembesült a korszak vallási és filozófiai sokféleségével. Itália különös jelentőségű volt számára, mert Galilei öröksége még közvetlenül érződött. Boyle későbbi írásaiban a mechanikai filozófia iránti nyitottság részben abból a szélesebb európai szellemi közegből táplálkozott, amelyet fiatalon megismert.

Hazatérése után Stalbridge-ben élt, majd egyre szorosabb kapcsolatba került azokkal az angol természetfilozófusokkal, akik a megfigyelést és a kísérletet a tudás központi eszközének tekintették. A levelezés korában a tudományos közösség nem intézményeken belül létezett elsősorban, hanem személyes hálózatokban. Levelekben cseréltek recepteket, műszerleírásokat, megfigyeléseket és könyveket. Boyle különösen aktív résztvevője lett ennek a világnak. Kapcsolatai révén egyszerre jutott információhoz orvosoktól, vegyészektől, matematikusoktól, utazóktól és műszerkészítőktől.

Az 1650-es években Oxford lett működésének egyik központja. Itt olyan csoport formálódott, amelynek tagjai között John Wilkins, John Wallis, Christopher Wren és más, később a Royal Societyhez kötődő alakok is megjelentek. A

HÁTTÉRGYÁR

csoportot nem szabad túl modern intézményként elképzelni. Nem volt egységes kutatási programjuk, és a későbbi Royal Society sem egyszerűen ebből nőtt ki. Mégis fontos közös vonásuk volt, hogy a természet vizsgálatát egyre inkább rendszeres megfigyelésekhez és kísérletekhez kapcsolták.

Boyle számára Oxford különösen kedvező helyszín volt. Egyetemi műhelyek, könyvtárak és képzett kézművesek álltak rendelkezésre. Itt találkozott Robert Hooke-kal is, aki fiatalabb volt nála, de rendkívüli mechanikai érzékkel rendelkezett. Hooke szerepe Boyle légszivattyús programjában alapvető lett. A későbbi tankönyvi emlékezet gyakran egyetlen nagy névhez köt egy találmányt, de a korai modern tudomány eszközei szinte mindig több ember munkájából születtek. Boyle biztosította a programot, a pénzt és a filozófiai kérdéseket; Hooke pedig olyan műszaki megoldásokat talált, amelyekkel a kérdéseket tényleges kísérletté lehetett alakítani.

Boyle társadalmi helyzete különleges tudósi szerepet tett lehetővé. Nem professzorként tanított, és nem volt udvari mérnök. Magánvagyonból finanszírozott kutatóként laboratóriuma egyszerre volt háztartás, műhely és tudományos helyszín. Segédek, szolgák és kézművesek munkája tette lehetővé a kísérleteket, miközben a

HÁTTÉRGYÁR

publikációk szerzőjeként rendszerint Boyle neve szerepelt. Ez a feszültség a korszak egész tudományára jellemző volt. A modern tudomány egyéni zsenikről szóló történetei mögött gyakran láthatatlan munkások, műszerkészítők és asszisztensek álltak.

HÁTTÉRGYÁR

# 3. Robert Hooke és a nagy gép

A vákuum előállítása a tizenhetedik század közepén nem elméleti, hanem nagyon is gyakorlati probléma volt. Otto von Guericke magdeburgi polgármester hatalmas légszivattyúival és látványos bemutatóival már bizonyította, hogy a levegő eltávolítható egy zárt térből. Híres magdeburgi félgömbjeinél két összeillesztett fémfélgömbből kiszivattyúzta a levegőt, és a külső légnyomás olyan erővel tartotta össze őket, hogy lovak sem tudták széthúzni. Boyle tudott ezekről a kísérletekről, és saját változatot akart készíteni, amely nemcsak bemutatásra, hanem sokféle mérésre is alkalmas.

A feladat Robert Hooke kezében kapott műszaki formát. Hooke különleges tehetsége abban rejlett, hogy elméleti ötleteket mechanikus szerkezetekké tudott alakítani. A Boyle számára készített légszivattyú nagy üvegedényt, szelepeket, tömítéseket, csöveket és pumpáló mechanizmust kapcsolt össze. A készülék nem volt tökéletes. A tömítések eresztettek, az üveg veszélyesen törékeny volt, és a teljes vákuum elérhetetlen maradt. Mégis elegendően le tudta csökkenteni a nyomást ahhoz, hogy látványos és megismételhető jelenségeket hozzon létre.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle 1660-ban jelentette meg a New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air című könyvét. A „spring”, vagyis rugalmasság kifejezés jól mutatja, hogyan gondolkodott a levegőről. A levegő szerinte olyan apró részecskékből állhatott, amelyek összenyomhatók, majd visszatágulásra törekednek. Nem rendelkezett a modern kinetikus gázelmélettel, de a levegő mechanikai viselkedését részecskék mozgásával és elrendeződésével próbálta magyarázni. Ez a korpuszkuláris szemlélet fontos része volt annak a szélesebb mechanikai filozófiának, amely a természeti jelenségeket anyagi részecskék és mozgásuk segítségével igyekezett értelmezni.

A légszivattyúval végzett program egyik ereje a változatosság volt. Boyle nem egyetlen kísérletet ismételt. Azt vizsgálta, mi történik a barométerrel, hogyan változik a folyadékok forrása, hogyan viselkedik a láng, mi történik élő állatokkal, miként terjed a hang, és hogyan reagálnak különféle anyagok a ritkított levegőre. A készülék egy mesterséges környezetet hozott létre, amelyben a levegő mennyisége kontrollálható változó lett. Ez a gondolat ma annyira természetesnek tűnik, hogy könnyű elsiklani forradalmi jellege fölött.

A korábbi természetfilozófia gyakran kész jelenségeket figyelt meg: a leeső követ, az égitesteket, a növényeket

vagy az időjárást. A légszivattyúval a kutató maga hozott létre szokatlan állapotot. Ezzel nem egyszerűen megfigyelte a természetet, hanem feltételeket szabott neki. A kísérlet kérdésként működött: mi történik, ha kivesszük a levegőt? A válasz nem mondat, hanem esemény volt. A gyertya kialudt, az állat elpusztult, az óra hangja elhalkult, a folyadék másként viselkedett.

A műszer ugyanakkor vitákat is generált. Mit bizonyít az, amit az üvegedényben látunk? Biztosak lehetünk abban, hogy valóban vákuum van odabent? Nem lehet, hogy a pumpa maga idéz elő más hatásokat? Mennyire megbízható egy olyan kísérlet, amelyhez drága, ritka és nehezen kezelhető szerkezet kell? Ezek a kérdések a modern laboratóriumi tudományban is ismerősek. A műszer sohasem pusztán semleges ablak a természetre: maga is része annak a rendszernek, amely az adatot létrehozza.

Boyle és Hooke együttműködése ezen a ponton különösen tanulságos. Boyle szövegei gyakran első személyben számolnak be a kísérletekről, de a készülék működése Hooke gyakorlati zsenialitásától függött. A tudománytörténet ma ezért nemcsak azt kérdezi, ki fogalmazta meg a törvényt, hanem azt is, ki készítette az eszközt, ki kezelte, ki figyelte, ki jegyezte fel az eredményeket, és milyen társadalmi feltételek tették

HÁTTÉRGYÁR

lehetővé a bemutatást. Boyle „nagy gépe” egyszerre volt fizikai szerkezet és új tudományos együttműködési forma.

HÁTTÉRGYÁR

# 4. Egy óra hangja a ritkuló levegőben

Boyle egyik legismertebb kísérlete első pillantásra egyszerűnek tűnik. Egy mechanikus órát helyezett a légszivattyú üvegburája alá, majd fokozatosan eltávolította a levegőt. Az óra tovább járt, de hangja egyre gyengébbé vált. A Royal Society későbbi ismertetése szerint a New Experiments huszonhetedik kísérlete éppen ezt a jelenséget vizsgálta. A következtetés fontos volt: a hang terjedéséhez közvetítő közegre van szükség.

A mai fizikából tudjuk, hogy a hang mechanikai hullám, amely részecskék rezgésén keresztül terjed. Boyle korában azonban a hang természete még messze nem volt ilyen világosan megfogalmazva. A kísérlet azért volt erős, mert nem igényelt bonyolult matematikát. A megfigyelő hallotta a változást. Ahogy csökkent a nyomás, az óra járása látható maradt, de a ketyegés halkult. A két jelenség szétválasztása arra utalt, hogy a hang nem az óra működésének szükségszerű mellékhatása, hanem a környezeten keresztül jut el a fülhöz.

A kísérlet mégsem volt olyan tiszta, mint egy modern tankönyvi rajz sugallná. A légszivattyú burája, az asztal és a szerkezet különféle rezgéseket közvetíthetett. A tökéletes vákuumot nem tudták létrehozni. A hallás

szubjektív mérőeszköz volt, a megfigyelők pedig eltérően érzékelhették a hang gyengülését. Boyle ereje azonban nem abban állt, hogy egyetlen tökéletes kísérlettel végleges választ adott. Sokféle próbát végzett, és az eredményeket egymással összefüggő bizonyítékként kezelte.

Ez a megközelítés fontos különbség a tudományos bemutató és a bizonyító kísérlet között. A látványos demonstráció meggyőző lehet, de egyetlen esemény könnyen félreérthető. Boyle tudományos stratégiája az volt, hogy ugyanarra a kérdésre több oldalról közelített. Ha a levegő eltávolítása megváltoztatja a hangot, az égést és az állatok életképességét, akkor a levegő nem puszta semleges tér. Különféle jelenségekben aktív szerepet játszik.

A hangkísérlet azért is érdekes, mert jól mutatja a kora újkori laboratórium érzéki jellegét. A modern tudományról sokan számok, grafikonok és képernyők világaként gondolkodnak. Boyle laboratóriumában azonban a szem, a fül, a kéz és néha még a szaglás is mérőeszköz volt. A megfigyelők figyelték a láng színét, hallgatták az óra hangját, nézték az állat mozgását, és a higanyszintet szemmel olvasták le. A műszer és az emberi érzékelés egymásra épült.

HÁTTÉRGYÁR

A hang vizsgálata később önálló akusztikai tudománnyá fejlődött. Newton, majd a tizennyolcadik és tizenkilencedik század fizikusai egyre pontosabban írták le a hang terjedését, sebességét és hullámtermészetét. Boyle munkája ebben a történetben nem végpont, hanem korai fordulat. Megmutatta, hogy olyan jelenséget is lehet kísérletileg szétszedni, amelyet az ember mindennap tapasztal, de természetesnek vesz.

A kísérlet filozófiai üzenete ennél is szélesebb. A világ tele van láthatatlan közvetítőkkel. A levegő, amely a hangot hordozza, maga nem látható. A nyomás, amely a higanyoszlopot tartja, szintén nem látható. Boyle módszere ezeknek a rejtett hatásoknak adott látható vagy hallható következményt. Ezért illik pályájára különösen jól a „semmi súlya” gondolata. A látszólag üres tér kísérleti vizsgálata során derült ki, milyen sok minden függ attól az anyagtól, amelyet korábban szinte észre sem vettek.

HÁTTÉRGYÁR

# 5. Lángok, állatok és a levegő szerepe

A légszivattyúval végzett kísérletek közül a legmegrázóbbak az élő állatokkal kapcsolatos próbák voltak. Boyle és kortársai madarakat, egereket és más kisebb állatokat helyeztek ritkított levegőbe, és megfigyelték, hogyan romlik állapotuk. A mai olvasó számára ezek a kísérletek etikai szempontból nehezen elfogadhatók, és fontos úgy tárgyalni őket, hogy ne váljanak puszta látványossággá. A tizenhetedik században azonban az állatkísérletek szabályozása és erkölcsi kerete egészen más volt, a kutatók pedig valódi fiziológiai kérdésekre kerestek választ.

Az egyik alapvető probléma az volt, miért szükséges a levegő az élethez. A légzés szerepéről számos elmélet létezett. Nem ismerték az oxigént mint kémiai elemet, nem értették a sejtlégzést, és a vér gázcseréjének modern leírása is hiányzott. A légszivattyú azonban lehetővé tette, hogy a levegő jelenlétét kísérleti változóként kezeljék. Amikor a levegőt eltávolították, az állatok gyorsan rosszul lettek; amikor bizonyos esetekben időben visszaengedték, állapotuk javulhatott. A levegő tehát valamilyen közvetlen életfenntartó szerepet játszott.

HÁTTÉRGYÁR

Hasonlóan fontosak voltak az égéssel végzett próbák. Gyertya vagy más láng a ritkított térben kialudt. A modern olvasó rögtön az oxigén hiányára gondol, de Boyle nem rendelkezett Lavoisier későbbi kémiai keretével. A kísérlet mégis világossá tette, hogy az égés nem független a levegőtől. A későbbi pneumatikus kémia, Joseph Black, Joseph Priestley, Henry Cavendish és Antoine Lavoisier munkája részben abból a hagyományból nőtt ki, amely a gázokat elkülöníthető és vizsgálható anyagokként kezelte.

A Royal Society archívumában fennmaradt 1667-es Boyle-kézirat kilenc olyan kísérletet sorol fel, amelyek a fény és a levegő kapcsolatát vizsgálták; a leírások között a levegő kivonásával kialvó láng is szerepel. Ez jól mutatja, hogy Boyle programja nem zárult le az 1660-as könyvvel. Újabb és újabb kérdésekkel tért vissza a légszivattyúhoz. A kísérleti eszköz akkor vált igazán termékennyé, amikor nem egyetlen látványos eredményre használták, hanem kutatási infrastruktúraként működött.

A légzés és az égés párhuzama később kulcsfontosságúvá vált. A tizenhetedik század kutatói számára már feltűnhetett, hogy ugyanaz a környezet szükséges mindkettőhöz. A láng és az állat egyaránt „elfogyaszt” valamit a levegőből, bár ezt még nem tudták modern kémiai fogalmakkal megnevezni. A felismerés nem egyenes vonalban vezetett az oxigén felfedezéséhez, de

hozzájárult ahhoz, hogy a levegőt ne egységes elemnek, hanem vizsgálható, változó tulajdonságú közegnek tekintsék.

Boyle állatkísérletei arra is emlékeztetnek, hogy a tudományos fejlődés morális történet. Az a tény, hogy egy kísérlet történetileg fontos, nem jelenti azt, hogy mai mércével elfogadható. A tudomány intézményei később egyre részletesebb szabályokat alakítottak ki az állatkísérletekre, a szükségesség, az arányosság és a szenvedés csökkentésének elvei alapján. Boyle korában ilyen rendszer nem létezett. A történész feladata nem a múlt felmentése vagy elítélése egyetlen mondattal, hanem annak megmutatása, hogyan különböztek a normák, és hogyan alakultak át.

A levegő szerepének vizsgálata végső soron az élő és élettelen természet közötti határt is érintette. Ugyanaz a fizikai közeg befolyásolta a lángot, az állatot, a hangot és a folyadékokat. Boyle számára ez arra utalt, hogy sok jelenség mechanikai és anyagi kölcsönhatásokkal magyarázható. Nem jelentette azt, hogy az életet puszta gépként fogta volna fel, de hozzájárult ahhoz az új kutatási stílushoz, amelyben az élő szervezetek működését is kísérleti körülmények között vizsgálták.

HÁTTÉRGYÁR

# 6. A higanyoszlop és a törvény, amelyet Boyle nem így nevezett

A modern fizikatankönyvben a Boyle-törvény tömör képletként jelenik meg: állandó hőmérsékleten adott mennyiségű gáz nyomása és térfogata fordítottan arányos. A képlet elegáns, és könnyű azt képzelni, hogy Boyle egyetlen kísérlet végén pontosan így fogalmazta meg. A történet valójában összetettebb. Boyle mérései, az 1661-ben rögzített adatok és az 1662-ben megjelent második kiadás érvelése fokozatosan mutatták meg az összefüggést. A modern törvényforma későbbi rendezés eredménye.

A kísérleti eszköz egy hosszú, J alakú üvegcső volt, amelynek rövidebb szárát lezárták. A rövid ágban levegő rekedt. A hosszabb ágba higanyt töltöttek, amely egyre nagyobb nyomást gyakorolt a bezárt levegőre. Ahogy a higany mennyisége nőtt, a bezárt levegő térfogata csökkent. Boyle és Hooke mérte a levegőoszlop hosszát és a higanyszintek különbségét. Ezzel olyan táblázatot kaptak, amelyben a nyomás növekedése és a térfogat csökkenése számszerű kapcsolatként jelent meg.

A Royal Society archívumában fennmaradt 1661. október 2-i kézirat különösen értékes, mert adatokat sorol

fel a levegő összenyomásáról, a higany súlyáról és a hipotézis alapján várt értékekről. Ez a dokumentum jól mutatja a kísérleti tudomány egyik lényeges változását. A jelenség többé nem pusztán minőségi leírás volt. A természetet táblázatba lehetett rendezni, a mért és az elméletileg várt értékeket pedig egymás mellé lehetett tenni.

Boyle nem azért volt jelentős, mert minden mérési pontja tökéletesen követte a mai képletet. A korabeli üvegcsövek egyenetlensége, a hőmérséklet változása, a higany leolvasásának pontatlansága és a műszer tömítési problémái mind hibaforrást jelentettek. Az eredmények mégis elég következetesek voltak ahhoz, hogy az összefüggés meggyőző legyen. A kísérlet egyben példa arra, hogyan kapcsolódik össze a mérés és a modell: a számok önmagukban nem beszélnek, de az elméleti várakozás segít értelmezni őket.

A törvény névadása történetileg félrevezető lehet. Edme Mariotte francia fizikus és pap 1676-ban egymástól függetlenül közölt hasonló összefüggést, és világosabban hangsúlyozta, hogy a kapcsolat állandó hőmérséklet mellett érvényes. Francia nyelvterületen ezért gyakran Mariotte törvényéről beszélnek, máshol Boyle–Mariotte-törvényként is ismert. A névadás arra emlékeztet, hogy a tudományos eredmények nem mindig

egyetlen pillanatban vagy egyetlen személyhez köthetően születnek.

A hőmérséklet feltétele különösen fontos. Ha egy gázt gyorsan összenyomunk, felmelegszik; ha kitágul, lehűlhet. Ha tehát a nyomás és térfogat kapcsolatát akarjuk mérni, időt kell hagyni arra, hogy a rendszer hőmérséklete kiegyenlítődjön a környezetével. Boyle korában a hőtan még nem rendelkezett olyan fogalmakkal, amelyek ezt teljesen tisztázták volna. A modern törvény ezért részben olyan tudást is tartalmaz, amelyet a későbbi fizika épített hozzá az eredeti kísérletekhez.

A Boyle-törvény története jól példázza, hogyan alakul át egy kutatási eredmény tankönyvi ténnyé. A laboratóriumban üvegcsövek, higany, kézi mérés, viták és bizonytalanságok vannak. A tankönyvben egy egyenlet. Mindkettő igaz, de más szinten. A történeti megközelítés nem azért bontja vissza a képletet a műhelyig, hogy kisebbítse jelentőségét, hanem azért, hogy megmutassa, mennyi munka, anyag és döntés sűrűsödik egy rövid matematikai összefüggésbe.

HÁTTÉRGYÁR

# Kitekintés – Towneley, Power és a gáztörvény közös története

Richard Towneley és Henry Power neve ritkábban szerepel a fizikatankönyvekben, mint Robert Boyle-é. A levegő rugalmasságának történetében azonban nem elhagyhatóak. A Lancashire és Yorkshire vidékén folytatott megfigyelések megmutatják, hogy a tizenhetedik századi tudomány fontos eredményei gyakran levelek, mérések és egymástól távol dolgozó kutatók eszmecseréi során alakultak ki. A törvény névadása később egyszerűbb képet rajzolt a kutatásról, mint amilyennek az a kortársak szemében látszott.

Towneley és Power a levegő nyomása, sűrűsége és térfogata közti összefüggéseket vizsgálták. A barométer nem maradt pusztán az időjárás előrejelzését segítő eszköz: a higanyoszlop változásai a levegő fizikai tulajdonságaira vonatkozó feltevéseket is próbára tették. A magaslatokon végzett kísérletek közvetlen kapcsolatot teremtettek a légnyomás és a magasság között. Az ismételt méréseknek az adott különös jelentőséget, hogy a megfigyelők az ingadozásokat többé nem feltétlenül műszerhibának vagy véletlennek tekintették, hanem a vizsgált jelenség részének.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle kapcsolata a két északi kutató eredményeivel tudománytörténeti elsőbbségi kérdést is felvet. Az 1662-ben megjelent, a levegő rugalmasságát tárgyaló kötetében maga is utalt mások vizsgálataira. A történészek ezért nem úgy beszélnek a nyomás és térfogat fordított arányosságáról, mint amely egyetlen pillanatban, egyetlen ember fejében készen megszületett. A Boyle körül kialakult kísérleti program és a Towneley–Power-féle megfigyelések részben külön úton haladtak, de a közzététel, a levelezés és a műszerek használata kapcsolatot teremtett közöttük.

A név mögötti munkamegosztás megértéséhez érdemes különválasztani a felismerést, a demonstrációt és a nyilvános igazolást. Valaki észrevehetett egy összefüggést néhány adatsorban; más megismételhette a mérést jobb eszközökkel; egy harmadik szerző az eredményt olyan formában közölhette, amely vitára és további ellenőrzésre adott alkalmat. Boyle könyvei különösen alkalmasak voltak erre az utóbbira: részletes kísérleti leírásokat, érveket és ellenvetésekre adott válaszokat kapcsoltak össze.

Az állandó hőmérséklet kérdése további árnyalást követel. Ha a gázt gyorsan sűrítjük össze, felmelegedhet, ha kitágul, lehűlhet. Az így végzett mérés tehát eltérhet attól a kapcsolattól, amelyet az iskolai képlet feltételez. A tizenhetedik századi kutatók még nem rendelkeztek a modern termodinamika fogalmaival és a hőmérséklet

finom szabályozásának eszközeivel. A később Mariotte nevéhez is kapcsolt törvényszerűség értelmezése ezért a hőtan fejlődésével együtt vált pontosabbá.

A gáztörvény története arra tanít, hogy a tudományos névadás a múlt sűrítménye. Hasznos, mert egy fogalmat gyorsan megnevezhetővé tesz, de elhalványíthatja azoknak az embereknek a munkáját, akik a mérési feltételeket megteremtették, a műszereket tökéletesítették, vagy korai adatokat közöltek. Towneley és Power bevonása nem csökkenti Boyle történeti jelentőségét. Inkább azt teszi világossá, hogy a kísérleti tudomány megszületése közösségi, vitákkal és esetenként párhuzamos felismerésekkel teli folyamat volt.

HÁTTÉRGYÁR

# 7. Hobbes ellen: lehet-e a kísérletből igazság?

Boyle légszivattyús programja nemcsak fizikai kérdéseket vetett fel. A kísérlet státusza maga is vitatéma lett. Thomas Hobbes, a Leviatán szerzője és a kor egyik legerősebb filozófiai elméje nem fogadta el könnyen Boyle módszerét. A Boyle és Hobbes közötti konfliktus a tudománytörténet egyik leghíresebb példája arra, hogy az újkori tudomány nem csupán új eredményeket, hanem új szabályokat is kialakított arról, mi számít megbízható tudásnak.

Hobbes számára a valódi tudásnak szükségszerű, demonstratív bizonyosságra kellett törekednie. Geometriai mintára gondolkodott: világos definíciókból és következetes érvelésből akart eljutni a következtetésekhez. Boyle ezzel szemben olyan kísérleti programot épített, amely gyakran valószínűségi és tanúságtételre épülő tudást hozott létre. A légszivattyúban megfigyelt eseményt nem lehetett puszta logikából levezetni. Látni kellett, meg kellett ismételni, le kellett írni, és másoknak el kellett hinniük, hogy a beszámoló pontos.

A vita egyik központi kérdése az volt, mi van a légszivattyú edényében. Boyle hajlandó volt gyakorlati

értelemben vákuumról beszélni, miközben óvatos maradt a teljes metafizikai ürességgel kapcsolatban. Hobbes szerint az a tér nem lehet valóban üres; finom anyagok vagy éter töltheti ki. A különbség nem pusztán terminológiai volt. Arról szólt, hogy egy műszerrel létrehozott jelenség mennyire dönthet el filozófiai kérdést.

Boyle válasza részben társadalmi-technikai volt. A kísérletnek „virtuális tanúkat” lehetett teremteni részletes leírással. A publikáció nem egyszerűen eredményt közölt, hanem bemutatta a készüléket, a lépéseket, a nehézségeket és a megfigyeléseket. Az olvasónak úgy kellett éreznie, mintha jelen lett volna. A tényleges bemutatókon pedig több tekintélyes megfigyelő lehetett jelen, akik tanúsíthatták, hogy ugyanazt látták.

Ez a gyakorlat a Royal Society kultúrájában különösen fontossá vált. A társaság mottója, a Nullius in verba nagyjából azt fejezte ki, hogy puszta tekintélyre nem szabad támaszkodni. Ez azonban nem jelentette a tanúk és beszámolók elutasítását. Éppen ellenkezőleg: a tapasztalat megbízhatóságát közösségi ellenőrzéssel próbálták erősíteni. A tudományos tény nem magányos belátásként, hanem megismételhető és megosztható eseményként kapott státuszt.

A modern tudományban ennek öröksége mindenütt jelen van. A módszertani leírás, a reprodukálhatóság, a

mérési bizonytalanság, a szakmai ellenőrzés és a közösségi kritika mind annak a problémának a későbbi formái, amelyet Boyle korában még nyílt filozófiai vitában kellett megfogalmazni. A tudomány nem azért megbízható, mert minden egyes állítása bizonyos, hanem mert olyan intézményes eljárásokat alakított ki, amelyek lehetővé teszik a hibák felismerését és az eredmények ellenőrzését.

Hobbes kritikája ezért nem egyszerűen „tévedés” volt, amelyet a győztes tudomány félresöpört. Rámutatott a kísérleti módszer valódi gyenge pontjaira: a műszerek megbízhatóságára, a tanúk hitelességére, a helyi eredmények általánosíthatóságára és a magyarázatok bizonytalanságára. Boyle válasza nem szüntette meg ezeket a problémákat. Inkább olyan gyakorlati kultúrát teremtett, amelyben kezelhetővé váltak. A modern laboratórium működését részben éppen ez a kompromisszum jellemzi: ritkán kínál abszolút bizonyosságot, de módszeresen növeli a bizonyítékok megbízhatóságát.

HÁTTÉRGYÁR

# 8. A Royal Society: társaság a kísérlet körül

1660 novemberében Londonban tudósok és természetfilozófusok egy csoportja olyan társaság létrehozásáról kezdett tárgyalni, amely rendszeresen foglalkozna kísérleti természetfilozófiával. A szervezetből rövidesen Royal Society lett. Boyle a korai tagok közé tartozott, és 1660. november 28-án választották be a társaságba. A Royal Society nem egyik napról a másikra teremtette meg a modern tudományt, de olyan intézményi környezetet hozott létre, amelyben Boyle kísérleti stílusa különösen jól működött.

A társaság ülésein leveleket olvastak fel, műszereket mutattak be, boncolásokat, kémiai próbákat és fizikai kísérleteket végeztek. A beszámolókat jegyzőkönyvekben rögzítették. Ha egy állítás vitatható volt, újabb próbát rendelhettek el. A kísérlet így nem magánműhelyben maradó esemény lett, hanem közösségi aktus. A Royal Society archívuma ma azért különösen értékes, mert megőrzi ezt a folyamatot: nemcsak a végleges könyveket, hanem kéziratokat, táblázatokat, rajzokat és jegyzőkönyvi nyomokat is.

A társaság egyik központi alakja Henry Oldenburg titkár volt. Levelezési hálózata egész Európát behálózta.

HÁTTÉRGYÁR

Oldenburg tudósoktól kapott híreket, továbbította azokat másokhoz, kérdéseket tett fel és vitákat közvetített. 1665-ben megindította a Philosophical Transactions című folyóiratot, amely a tudományos kommunikáció történetének egyik mérföldköve lett. A folyóirat nem modern értelemben vett szaklapként indult, de fontos szerepet játszott abban, hogy megfigyelések és kísérletek gyorsabban kerüljenek nyilvánosságra.

Boyle számára a Royal Society egyszerre volt közönség és ellenőrző közeg. Kísérleteit itt bemutathatta, eredményei pedig bekerülhettek a társaság dokumentumaiba. Ugyanakkor az intézményben mások is megismételhették vagy kritizálhatták próbáit. A Royal Society 1661. március 18-i ülésének dokumentumai például olyan légszivattyús vizsgálatokról tanúskodnak, amelyek különféle folyadékok viselkedését figyelték. A tudományos program ezzel túlnőtt Boyle saját laboratóriumán.

A társaság társadalmi összetétele ugyanakkor korántsem volt demokratikus a mai értelemben. Tagjai többnyire művelt, vagyonos férfiak voltak, akik hozzáfértek könyvekhez, műszerekhez és kapcsolatokhoz. A kézművesek, asszisztensek és nők munkája fontos lehetett, de az intézményi elismerés ritkán jutott el hozzájuk. A modern tudományos intézmény kialakulása ezért

egyszerre jelentett nyitást a tapasztalati ellenőrzés felé és új társadalmi határok létrejöttét.

A Royal Society különlegessége az volt, hogy a természetfilozófiai tekintélyt nem kizárólag egyetemekhez kötötte. A kísérlet, a műszer és a megfigyelés önálló presztízst kapott. Egy jól megtervezett próbának lehetett olyan súlya, amelyet korábban egy klasszikus szerző idézete hordozott. A tudományos vita nyelve ezzel lassan átalakult. Nem az lett az egyetlen kérdés, hogy Arisztotelész vagy más tekintély mit mondott, hanem az is, hogy a műszer mit mutatott.

Boyle életműve és a Royal Society története ezért nehezen választható szét. A társaság nélkül Boyle kísérletei valószínűleg akkor is fontosak lettek volna, de kevésbé váltak volna egy új tudományos kultúra mintájává. Boyle pedig a maga részéről olyan programot adott a társaságnak, amely látványosan demonstrálta a kísérleti természetfilozófia erejét. A modern tudomány intézményei részben ebből a kölcsönhatásból nőttek ki: személyes kíváncsiságból, társas ellenőrzésből és a megfigyelések nyilvánosságából.

HÁTTÉRGYÁR

# 9. A kétkedő kémikus

1661-ben jelent meg Boyle egyik legismertebb műve, a The Sceptical Chymist. A címben szereplő „sceptical” szó nem azt jelentette, hogy Boyle elutasította volna a kémiát. Éppen ellenkezőleg: sok időt és pénzt fordított laboratóriumi kísérletekre, és jól ismerte a kor chymiai technikáit. Kétkedése elsősorban azokra a nagy, általános rendszerekre irányult, amelyek kevés kísérleti bizonyítékkal magyarázták az anyag összetételét. A könyv párbeszédes formában vitatja az arisztotelészi négy elem és a paracelsusi három princípium egyszerű alkalmazását.

A későbbi tankönyvek gyakran Boyle-t nevezik a modern kémia egyik alapítójának, és a Sceptical Chymistből egyenes utat rajzolnak Lavoisier elemfogalmához. Ez túl egyszerű kép. Boyle nem alkotta meg a modern kémiai elem pontos definícióját, és sok olyan elképzelést megőrzött, amely ma már idegen a kémiától. Érdeme inkább módszertani volt. Azt követelte, hogy az anyag összetételéről szóló állításokat ne pusztán hagyományból vagy filozófiai rendszerből vezessék le, hanem gondosan ellenőrzött kísérletekkel támasszák alá.

A korabeli chymia egyszerre volt laboratóriumi mesterség, gyógyszerkészítés, fémekkel és ásványokkal végzett munka, valamint elméleti természetfilozófia. A

desztilláció, kalcinálás, oldás, kristályosítás és más műveletek kifinomult gyakorlati tudást igényeltek. Boyle nagyra értékelte ezt a technikai örökséget, de gyanakodva tekintett azokra, akik néhány műveletből általános világmagyarázatot építettek. A laboratóriumot nem titkos beavatás helyszínének, hanem ellenőrizhető tudás forrásának akarta látni.

A könyv egyik fontos következménye az volt, hogy az anyagok elemzését nyitott kérdéssé tette. Ha egy testet hevítéssel, oldással vagy más eljárással több anyagra bontunk, abból még nem következik automatikusan, hogy ezek az eredeti test végső alkotóelemei. Lehetséges, hogy maga a művelet hozza létre őket. Ez a megfontolás modern szemmel is meglepően éles. Boyle felismerte, hogy a kémiai eljárás nem egyszerűen felfedi a természetet, hanem át is alakíthatja a vizsgált anyagot.

A Sceptical Chymist ezért rokon a légszivattyús programmal. Mindkettőben ugyanaz a kérdés tér vissza: hogyan különítsük el azt, ami valóban a természet tulajdonsága, attól, amit a műszer vagy az eljárás okoz? A vákuumkísérletnél a pumpa hatásait kellett megérteni; a kémiában azt, hogy a hevítés, desztillálás vagy oldás milyen új termékeket hoz létre. A kísérleti módszer ereje éppen abban áll, hogy ezeket a zavaró tényezőket nem lehet elméleti eleganciával eltüntetni.

Boyle a korpuszkuláris filozófiát használta arra, hogy az anyagok tulajdonságait részecskék méretével, alakjával, mozgásával és elrendeződésével magyarázza. Ez nem azonos a modern atomelmélettel, de fontos lépés volt abba az irányba, hogy a makroszkopikus tulajdonságokat mikroszkopikus szerkezetből vezessék le. Egy anyag savassága, oldhatósága vagy reakcióképessége így nem rejtett „minőség”, hanem részecskék kölcsönhatásának következménye lehetett.

A könyv hosszú távú hatása ezért nem egyetlen definícióban mérhető. Boyle hozzájárult ahhoz, hogy a kémia fokozatosan önálló kísérleti tudománnyá váljon. A laboratóriumi eljárások, a pontos leírás, az anyagok elkülönítése és az elméleti óvatosság együtt olyan normákat teremtettek, amelyek a tizennyolcadik század végén Lavoisier munkájában új szintre jutottak. A modern kémia nem Boyle-lal kezdődött egyetlen pillanatban, de nélküle másképp alakult volna.

HÁTTÉRGYÁR

# 10. Színek, savak és lúgok

Boyle kémiai munkássága nem merült ki az elemekről szóló filozófiai vitákban. Nagyon gyakorlati módszerekkel vizsgálta az anyagok tulajdonságait, és különösen érdekelte, hogyan lehet egyszerű próbákkal megkülönböztetni egymástól különféle oldatokat. A savak és lúgok felismerésére növényi eredetű színanyagokat használt. Bizonyos kivonatok színe megváltozott attól függően, milyen oldattal érintkeztek. Ez a jelenség a későbbi indikátorkémia egyik korai előzménye.

A színváltozás azért volt hasznos, mert látható jelet adott egy egyébként nehezen megragadható tulajdonságról. A savasság vagy lúgosság nem olyan jellemző, amelyet puszta szemmel közvetlenül észlelünk. A megfelelő indikátor azonban a kémiai környezetet színné alakítja. Ugyanaz a logika működik itt, mint Boyle sok fizikai kísérletében: látható következményt keresett egy rejtett állapothoz.

A korabeli laboratóriumban az anyagok tisztasága és összetétele messze nem volt olyan szabványos, mint ma. Két különböző műhelyben ugyanazzal a névvel jelölt anyag eltérő szennyeződéseket tartalmazhatott. A vegyszerek koncentrációja gyakran bizonytalan volt. Ezért a színpróbák sem voltak minden esetben reprodukálhatók

HÁTTÉRGYÁR

modern pontossággal. Mégis fontos lépést jelentettek a minőségi analízis felé, mert meghatározott reakciót kapcsoltak meghatározott anyagcsoporthoz.

Boyle számára a kémia érzéki tudomány volt. A színek, csapadékok, gázfejlődés, szagok és hőhatások mind információt hordozhattak. A modern laboratórium műszerei sok ilyen jelet számmá alakítanak: spektrométerek hullámhosszt mérnek, pH-mérők elektromos potenciált, kromatográfok csúcsokat rajzolnak. Boyle korában az emberi érzékszervek és egyszerű reagensek töltötték be ezt a szerepet.

A savak és lúgok vizsgálata azért is érdekes, mert megmutatja, hogy Boyle nem próbálta mindenáron egyetlen mechanikai modellből levezetni az összes kémiai jelenséget. Korpuszcularista volt, de a laboratóriumi eredményeket önálló súllyal kezelte. Ha egy reakció következetesen megismétlődött, azt akkor is érdemes volt rögzíteni, ha a mikroszkopikus magyarázat még bizonytalan maradt.

Ez az empirikus türelem a tudomány egyik fontos erénye. Sok későbbi áttörés olyan adatgyűjtésre épült, amelynek eredeti szerzői még nem ismerték a teljes elméleti magyarázatot. A kémia különösen sokáig fejlődött ilyen módon. Reakciókat, színváltozásokat, oldhatóságot és tömegváltozásokat dokumentáltak, miközben az atomok és

molekulák modern fogalma csak jóval később vált általánossá.

Boyle munkája ezért hidat képez a kézműves laboratóriumi tudás és a kvantitatív kémia között. Nem minden módszere volt számszerű, de ragaszkodott a megfigyelések részletes leírásához és az ellenőrizhetőséghez. A színpróba egyszerűnek tűnik a légszivattyúhoz képest, mégis ugyanazt a tudományos eszményt képviseli: a láthatatlan tulajdonságot olyan jelenséggé kell alakítani, amelyet mások is megfigyelhetnek.

HÁTTÉRGYÁR

# 11. Gyógyszerek, receptek és az emberi test

A tizenhetedik században a kémia és az orvoslás határa jóval bizonytalanabb volt, mint ma. A gyógyszerek jelentős részét ásványi, növényi és állati anyagokból készítették, és a chymiai műveletek egyre fontosabbá váltak a gyógyászatban. Boyle maga is nagy érdeklődést mutatott az orvosi kérdések iránt. Receptek, gyógyszerészeti eljárások és különféle terápiás beszámolók keringtek levelezési hálózatában.

Boyle hozzáállása itt is kettős volt. Nyitott volt a gyakorlati tapasztalatokra, és nem ragaszkodott ahhoz, hogy csak egyetemileg képzett orvosok rendelkezhetnek hasznos tudással. Ugyanakkor kritikusan viszonyult a sarlatánsághoz és azokhoz a chymistákhoz, akik titokzatos nyelvvel vagy ellenőrizhetetlen állításokkal próbáltak tekintélyt szerezni. A gyógyszer hatékonysága számára olyan kérdés volt, amelyet lehetőség szerint megfigyeléssel és összehasonlítással kellett tisztázni.

A korszak orvostudománya azonban messze volt a modern klinikai vizsgálatoktól. Nem létezett randomizálás, kontrollcsoport vagy statisztikai értékelés. Egy szer hatásáról gyakran egyedi esetek alapján döntöttek. A beteg javulása meggyőzőnek tűnhetett, még ha valójában

spontán gyógyulás, más kezelés vagy téves diagnózis állt is mögötte. Boyle módszertani óvatossága ilyen környezetben fontos, de korlátozott eszköz volt.

A levegő és légzés kutatása közvetlenül is kapcsolódott az orvosláshoz. Ha a levegő bizonyos tulajdonsága szükséges az élethez, akkor a légzőszervi betegségek, a zárt terek és a szellőzés kérdése új jelentőséget kap. Boyle és kortársai még nem ismerték a fertőzések modern elméletét, de a levegő minősége, mozgása és nyomása már orvosi érdeklődés tárgya lett.

A vákuumkísérletek az emberi test határaira is rákérdeztek. A ritkított levegőben fellépő fulladás, a nyomás változásának élettani hatásai és a gázok viselkedése később a búvárélettan, a magaslati orvoslás és a repülés medicina számára alapvető kérdésekké váltak. Boyle korában ezek még nem önálló tudományterületek voltak, de a kísérleti probléma már megjelent.

Boyle orvosi érdeklődése jól mutatja, hogy a tudományos specializáció még nem alakult ki modern formájában. Ugyanaz az ember foglalkozhatott fizikával, kémiával, fiziológiával és teológiával. Ez nem azért volt lehetséges, mert minden terület egyszerűbb volt, hanem mert a tudomány intézményi határai még mozgásban voltak. A természetfilozófia széles vállalkozásként igyekezett megérteni az anyagi világot.

HÁTTÉRGYÁR

A modern szem számára Boyle gyógyászati elképzeléseinek jelentős része elavult. Mégis fontos örökséget hagyott abban, hogy az orvosi és kémiai állításokat tapasztalati ellenőrzéshez kötötte. A laboratórium és a gyógyászat közötti kapcsolat később a gyógyszerészet, biokémia és élettan fejlődésében vált meghatározóvá. Boyle korában ennek csak első körvonalai látszottak, de már felismerhető volt az igény: a test működéséről szóló állításoknak ugyanúgy szembe kell nézniük a kísérlet próbájával, mint a levegőről vagy az anyagokról szólóknak.

HÁTTÉRGYÁR

# 12. Isten, természet és a mechanikus világ

Boyle mélyen vallásos ember volt, és természetfilozófiáját nem lehet megérteni ennek figyelembevétele nélkül. A modern tudománytörténet egyik gyakori leegyszerűsítése szerint a tudomány fejlődése fokozatosan kiszorította a vallást a természet magyarázatából. A tizenhetedik században azonban sok kutató éppen vallási meggyőződéséből merített indítékot a természet vizsgálatához. Boyle számára a teremtett világ rendje Isten bölcsességéről tanúskodott.

Ez nem jelentette azt, hogy minden természeti jelenséget közvetlen isteni beavatkozással magyarázott volna. Éppen ellenkezőleg: a mechanikai filozófia vonzerejét részben az adta, hogy a természetet szabályos, következetes rendszerként lehetett elképzelni. Isten megteremtette az anyagot és a mozgás törvényeit, a világ pedig ezek szerint működik. A kutató feladata az volt, hogy feltárja ezt a rendet.

Boyle sokat írt a természet tanulmányozásának vallási értékéről. Úgy gondolta, hogy a természet megismerése növelheti a Teremtő iránti csodálatot. Ugyanakkor óvott attól, hogy a természetet önálló, személyes hatalomként kezeljék. A „Nature” szó használatát is kritizálta, ha az azt

sugallta, hogy a természet valamiféle cselekvő istenség. Számára a természeti törvények mögött nem önálló természetistennő, hanem a teremtés rendje állt.

Vallási érdeklődése gyakorlati tevékenységben is megjelent. Támogatta a Biblia fordítását és terjesztését, missziós vállalkozásokat, valamint teológiai műveket írt. Végrendeletében pénzt hagyott olyan előadásokra, amelyek a kereszténység védelmét szolgálták; ezekből alakult ki a Boyle Lectures hagyománya. A tudós és a vallásos apologéta tehát ugyanannak az életműnek két oldala volt.

A mechanikai filozófia és a vallás kapcsolata ugyanakkor nem volt feszültségmentes. Ha minden jelenség anyagi részecskék mozgásával magyarázható, mi marad az isteni cselekvésnek? Boyle válasza az volt, hogy a mechanizmus maga is a teremtett rend része. A természeti magyarázat nem Isten alternatívája, hanem annak leírása, hogyan működik a teremtett világ szokásos rendben.

Ez a szemlélet különösen fontos volt az olyan jelenségeknél, amelyeket korábban „okkult minőségekkel” magyaráztak. Boyle szívesebben keresett részecskék, mozgások és mechanikai kölcsönhatások alapján érthető okokat. Az „okkult” itt nem feltétlenül természetfelettit jelentett, hanem olyan tulajdonságot, amelynek működési módját nem ismerték. A mechanikai program célja az volt,

HÁTTÉRGYÁR

hogy minél kevesebb ilyen homályos minőséget hagyjon érintetlenül.

A modern olvasó számára Boyle világa arra emlékeztet, hogy a tudományos és vallási gondolkodás története nem egyszerű háború. Voltak konfliktusok, de volt együttélés, kölcsönös motiváció és bonyolult átfedés is. Boyle esetében a kísérleti tudomány fejlődése nem a hit feladásából, hanem részben annak sajátos értelmezéséből fakadt. A természet törvényszerűsége számára egyszerre volt fizikai tény és teológiai jelentés.

HÁTTÉRGYÁR

# 13. A láthatatlan részecskék világa

Boyle korpuszkuláris filozófiája abból indult ki, hogy az anyagi testek apró részecskékből állnak, amelyek mérete, alakja, mozgása és elrendeződése meghatározza a testek érzékelhető tulajdonságait. Ez a kép hasonlít a modern atomisztikus gondolkodáshoz, de fontos különbségeket tartalmaz. Boyle részecskéi nem a periódusos rendszer atomjai voltak, és nem rendelkeztek a modern kémiai elemekhez kötött meghatározott szerkezettel. A korpuszkuláris elmélet inkább általános mechanikai magyarázati program volt.

A program egyik vonzereje az volt, hogy a minőségeket szerkezetre lehetett visszavezetni. Miért kemény egy anyag, miért oldódik egy másik, miért különbözik a színük vagy reakcióképességük? Boyle szerint ezek a tulajdonságok a részecskék konfigurációjából és mozgásából eredhetnek. Így a kémiai jelenségek kapcsolatba kerültek a mechanikával.

A gondolat filozófiai előzményei az ókori atomistákig nyúltak vissza, de a tizenhetedik században új erőt kapott Descartes, Gassendi és más szerzők munkájában. Boyle nem egyszerűen átvette egyik rendszerüket. Óvatosan kezelte azokat a részleteket, amelyeket nem lehetett

HÁTTÉRGYÁR

kísérletileg ellenőrizni. A korpuszkuláris modell számára rugalmas eszköz volt, nem lezárt dogma.

Ez az óvatosság jól látszik a levegő „rugalmasságának” magyarázatában. Boyle elképzelte, hogy a levegőrészecskék valamilyen módon összenyomódnak, majd széttartásra törekednek. Több mechanikai hasonlatot is lehetett használni, de egyik sem vált teljesen bizonyított mikroszkopikus elméletté. A mérhető nyomás–térfogat kapcsolat erősebb állítás volt, mint az, hogy pontosan milyen alakú vagy mozgású részecskék hozzák létre.

Ez a különbség a modell és az adat között a modern tudományban is alapvető. Egy modell értékes lehet akkor is, ha tudjuk, hogy idealizál. A lényeg az, milyen jelenségeket magyaráz és milyen új jóslatokat tesz lehetővé. Boyle korpuszkuláris filozófiája azért volt termékeny, mert arra ösztönzött, hogy az anyagi tulajdonságokat rejtett szerkezettel és mozgással hozzák kapcsolatba.

A mikroszkóp korabeli fejlődése tovább erősítette ezt a képzeletet. Robert Hooke Micrographiája 1665-ben lenyűgöző képeket közölt olyan részletekről, amelyek szabad szemmel láthatatlanok voltak. A mikroszkóp nem mutatta meg Boyle hipotetikus anyagrészecskéit, de megerősítette azt az általános intuíciót, hogy a látható világ mögött gazdag mikroszkopikus struktúra rejtőzik.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle öröksége ezen a téren nem abban áll, hogy pontosan előre látta volna a modern atomelméletet. Inkább abban, hogy a rejtett szerkezetet legitim tudományos magyarázat tárgyává tette, miközben ragaszkodott ahhoz, hogy a láthatatlan világra vonatkozó állításokat a megfigyelhető következményekhez kössék. A modern fizika és kémia jelentős része ma is ilyen logikával dolgozik: közvetlenül nem látható entitásokat azért fogadunk el, mert mérhető nyomokat hagynak.

HÁTTÉRGYÁR

# 14. A kísérlet nyelve

Boyle tudományos jelentőségéhez nemcsak az tartozik hozzá, mit kísérletezett ki, hanem az is, hogyan írt róla. Művei gyakran meglepően részletesek. Leírják a készülék elrendezését, a kísérlet menetét, a váratlan nehézségeket és azt is, ha az eredmény nem volt egyértelmű. A modern olvasó számára ez körülményesnek tűnhet, de a részletesség tudatos retorikai stratégia volt.

A kísérleti ténynek közönségre volt szüksége. Az olvasók többsége nem rendelkezett saját légszivattyúval, így nem tudta azonnal megismételni Boyle próbáit. A szövegnek ezért olyan részletesnek kellett lennie, hogy az olvasó elképzelhesse a helyzetet. A tudománytörténészek ezt gyakran „virtuális tanúságtételként” írják le: a leírás mintegy bevonja az olvasót a kísérlet helyszínére.

Boyle stílusában fontos szerepet játszik az óvatosság. Sokszor nem kategorikus kijelentést tesz, hanem valószínűnek, elképzelhetőnek vagy további vizsgálatra érdemesnek nevez egy következtetést. Ez nem gyengeség, hanem tudatos különbségtétel a megfigyelés és az értelmezés között. A kísérleti filozófia hitelességét az növelte, ha a szerző nem tett úgy, mintha többet tudna annál, amit a vizsgálat valóban alátámasztott.

HÁTTÉRGYÁR

A sikertelen vagy részben sikerült kísérletek leírása ugyanezt a célt szolgálta. Egy olyan szöveg, amelyben minden próba tökéletesen sikerül, gyanúsan szerkesztett lehet. Boyle munkái ezzel szemben megmutatták a laboratórium ellenállását. Üveg tört, tömítés szivárgott, mérés bizonytalanná vált. A természet nem mindig engedelmeskedett az első kísérleti tervnek.

Ez a nyelv a tudományos objektivitás történetének fontos állomása. A modern kutatási cikk sok tekintetben más műfaj: tömörebb, standardizált és statisztikailag formalizált. Mégis megmaradt az a követelmény, hogy a módszert elég részletesen kell közölni ahhoz, hogy mások értékelhessék vagy megismételhessék. A tudományos írás tehát nem puszta beszámoló, hanem az ellenőrizhetőség infrastruktúrája.

Boyle szövegei azt is mutatják, hogy a „tény” létrejötte kommunikációs folyamat. A kísérleti esemény egyszeri és helyi: egy adott helyen, adott időben történik. Ahhoz, hogy tudományos ténnyé váljon, ki kell emelni ebből a helyzetből. A leírás, a rajz, a táblázat és a tanúk mind azt szolgálják, hogy az esemény más helyeken és más időkben is értékelhető legyen.

A modern reprodukálhatósági viták fényében Boyle módszere különösen aktuálisnak tűnik. Ma a laboratóriumok sokkal pontosabb műszerekkel dolgoznak,

HÁTTÉRGYÁR

mégis ugyanazzal a problémával szembesülnek: elegendő információt közöltek-e ahhoz, hogy mások ugyanazt az eredményt kapják? Boyle világa technikailag távoli, de epistemológiai kérdése meglepően ismerős.

HÁTTÉRGYÁR

# 15. Műszerek és mesterek

A tudománytörténet sokáig elsősorban könyvekből és nagy elméletekből mesélte el a tudás fejlődését. Boyle története azonban világosan mutatja, hogy a modern kísérleti tudomány műszerek nélkül elképzelhetetlen. Az üvegcső, a higany, a szelep, a tömítés és a precíz mechanikai alkatrész ugyanúgy része a felfedezésnek, mint a filozófiai kérdés.

A tizenhetedik századi műszerkészítés komoly kézműves tudást igényelt. Az üveget megfelelő alakúra kellett fújni, a fémrészeket pontosan megmunkálni, a csatlakozásokat tömíteni kellett. A vákuum különösen érzékeny volt minden apró hibára. Egy hajszálnyi rés vagy rosszul illeszkedő szelep leronthatta a kísérletet. Hooke értéke részben abban állt, hogy értette ezt a gyakorlati világot.

A műszerek fejlődése visszahatott az elméletre. A jobb pumpával alacsonyabb nyomást lehetett elérni, az alacsonyabb nyomás pedig új jelenségeket tett láthatóvá. A pontosabb barométer finomabb változásokat mutatott. A mikroszkóp új struktúrákat tárt fel. A tudományos kérdés így gyakran az eszköz lehetőségeihez igazodott: azt lehetett megkérdezni, amit valamilyen módon mérni vagy megfigyelni lehetett.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle második légszivattyúja, amelynek alkatrészeit 1669-es könyvében metszet mutatta be, már egy fejlődő technológia része volt. Az első „nagy gép” után a konstrukciót tovább kellett javítani. A műszer története tehát nem egyetlen találmány pillanata, hanem iterációk sorozata. A hibák, javítások és új változatok ugyanúgy hozzátartoznak a tudományhoz, mint a sikeres kísérlet.

A kézművesek és asszisztensek társadalmi helyzete azonban gyakran alacsonyabb volt a természetfilozófusokénál. Nevük kevésbé maradt fenn, noha tudásuk nélkül a műszerek nem működtek volna. A tudományos szerzőség rendszere az elméleti programot és a publikációt jutalmazta, miközben a fizikai kivitelezés könnyebben vált láthatatlanná. Hooke kivételes eset, mert saját jogán is jelentős tudóssá vált, de sok más közreműködő ismeretlen maradt.

A modern laboratóriumokban ugyanez a kérdés új formában jelenik meg. Mérnökök, technikusok, programozók és műszerfejlesztők munkája nélkül számos kísérlet lehetetlen lenne. A nagy részecskegyorsítók vagy űrteleszkópok esetében a szerzőség már több száz vagy több ezer emberre terjedhet ki. Boyle laboratóriuma ehhez képest kicsi volt, de az alapelv ugyanaz: a tudomány kollektív, technikai vállalkozás.

HÁTTÉRGYÁR

A műszer nem csupán eszköz a már meglévő elmélet tesztelésére. Gyakran maga teremti meg az új tudományos tárgyat. A légszivattyú nélkül a vákuum filozófiai kérdés maradt volna; a pumpával viszont manipulálható kísérleti környezet lett. Ez az egyik legfontosabb fordulat Boyle történetében. A természet bizonyos jelenségei akkor váltak tudományosan hozzáférhetővé, amikor valaki megépítette azt a tárgyat, amelyben elő lehetett idézni őket.

HÁTTÉRGYÁR

# 16. A vákuum látványossága

A tizenhetedik századi kísérletek nem kizárólag csendes laboratóriumi munkák voltak. Sok esetben bemutatóként is működtek. A légszivattyú különösen alkalmas volt erre. A láng kialvása, az állat fulladása, a folyadékok szokatlan viselkedése vagy a testből kiszökő buborékok látványosak voltak. A vákuum olyan láthatatlan állapot volt, amely dramatikus következményekben mutatta meg magát.

A Royal Society ülései részben ilyen közösségi események voltak. Előkelő vendégek is megfordulhattak, és a kísérlet egyszerre szolgálhatta a kutatást, a meggyőzést és a társadalmi reprezentációt. 1662-ben például Rupert herceg jelenlétében is tartottak látványos légszivattyús bemutatót. A Royal Society egyik későbbi beszámolója szerint egy ember karját részben vákuumnak tették ki, ami erős duzzanatot és látható élettani hatást okozott.

A tudományos látványosság nem feltétlenül jelentett felszínességet. A bemutató fontos eszköz volt a hitelesség megteremtésében. Ha valaki saját szemével látta a jelenséget, könnyebben fogadta el, hogy a műszer valóban valami újat mutat. A kísérlet így társadalmi esemény is lett, amelyben a jelenlévők közösen tapasztaltak meg egy rendkívüli helyzetet.

Ugyanakkor a látvány veszélyt is rejtett. A drámai hatás könnyen túlértékelhette az eredményt. Egy állat fulladása önmagában nem magyarázza meg, milyen kémiai folyamat hiányzik a légzésből. A látvány meggyőző, de a tudományos értelmezéshez további kísérletek szükségesek. Boyle programjának egyik erőssége éppen az volt, hogy a demonstrációt mérési és összehasonlító vizsgálatokkal kapcsolta össze.

A tizennyolcadik században a pneumatikus kísérletek közönségelőadások népszerű elemei lettek. Joseph Wright of Derby híres festménye, az An Experiment on a Bird in the Air Pump később ikonikus képpé vált, noha nem Boyle konkrét laboratóriumát ábrázolja. A kép sötét szobában, erős fényben mutatja a vákuumkísérletet figyelő emberek eltérő reakcióit. Jól érzékelteti, hogy a kísérlet egyszerre lehetett intellektuális, érzelmi és társadalmi esemény.

A modern tudományos kommunikációban a bemutató tovább él. Rakétaindítások, részecskefizikai bejelentések, laboratóriumi videók és múzeumi kísérletek ugyanúgy vizuális bizonyítékokat kínálnak. A különbség az, hogy ma sokkal szigorúbban elválasztjuk a közönségnek szánt demonstrációt a kutatási adatgyűjtéstől. Boyle korában ez a határ még kialakulóban volt.

A vákuum látványossága tehát kettős szerepet játszott. Felkeltette az érdeklődést és meggyőzővé tette az új

természetfilozófiát, ugyanakkor szükségessé tette a módszertani óvatosságot. A tudomány számára a látvány akkor értékes, ha nem helyettesíti, hanem támogatja a bizonyítást.

HÁTTÉRGYÁR

# Kitekintés – Katherine Ranelagh és a láthatatlan tudományos hálózat

Robert Boyle tudományos életét a korabeli társadalmi kapcsolatok és a családi környezet is alakította. Nővére, Katherine Jones, Ranelagh vikomtessze, politikusok, teológusok, orvosok és természetfilozófusok széles körével tartott kapcsolatot. A történeti emlékezet sokáig inkább Boyle családi hátterének egyik szereplőjeként kezelte, pedig háza és levelezése a tudományos eszmecsere jelentős közege volt. A tizenhetedik században az a hely, ahol a gondolatok először vitába kerültek, gyakran nem a hivatalos társasági ülés, hanem egy magánház könyvtára vagy fogadószobája volt.

Katherine közvetítői szerepét érdemes a kor nőkre vonatkozó korlátai felől is szemlélni. Az egyetemi pálya és a tudós társaságok tagsága döntően férfiak előtt állt nyitva; ez azonban nem jelentette azt, hogy a nők kimaradtak volna a tudás előállításának és továbbításának folyamataiból. A családi és baráti hálózatokban könyvek, kísérleti beszámolók és ajánlólevelek mozogtak. A házigazda, a levelezőpartner és a pártfogó munkája nehezebben látható, mint egy nyomtatott értekezés címlapja, mégis gyakran előfeltétele volt annak, hogy a

HÁTTÉRGYÁR

tudósok találkozhassanak.

Boyle és Katherine kapcsolata élete végéig szoros maradt. A közös londoni háztartás lehetővé tette, hogy Boyle tanulmányait és levelezését a családi környezet támogassa, miközben nővére saját vallási és szellemi érdeklődésének megfelelően épített kapcsolatokat. A testvérek gondolkodását nem lehet egyetlen közös programra egyszerűsíteni. Közös vonásuk azonban a hit, a tudás és az erkölcsi felelősség összefüggései iránti figyelem volt.

A Royal Society kialakulását bemutató elbeszélésekben könnyű úgy látni a tudományt, mintha az kizárólag tudós férfiak zárt helyiségekben végzett kísérleteiből állt volna. A történeti kép ennél tágabb. A műszerekhez üvegfúvók és gépészek kellettek, a könyvekhez nyomdászok és könyvkereskedők, a kutatói hálózatok működtetéséhez pedig olyan emberek, akik vendégeket fogadtak, leveleket továbbítottak és társadalmi bizalmat teremtettek. Katherine Ranelagh alakja különösen alkalmas e kevésbé látható infrastruktúra bemutatására.

Boyle halála előtt néhány nappal nővére is meghalt. A két esemény közelsége a kortársak számára is a testvéri kapcsolat jelentőségét hangsúlyozta. A tudománytörténet szempontjából még fontosabb, hogy Boyle életműve egy családi, vallási, gazdasági és intellektuális

kapcsolatrendszerben jött létre. Ha ezt figyelmen kívül hagyjuk, az önmagában dolgozó zseni könnyen felismerhető, de történetileg félrevezető képe marad előttünk.

HÁTTÉRGYÁR

# 17. Oxfordból Londonba

Boyle tudományos pályájának földrajza is változott. Oxford az 1650-es és 1660-as években a kísérleti természetfilozófia egyik fontos központja volt számára, de később egyre inkább Londonhoz kötődött. Ez nem egyszerű költözés volt. London a restauráció utáni Anglia politikai, kereskedelmi és intellektuális központjaként olyan kapcsolati hálót kínált, amelyben a Royal Society, a könyvkiadás, a műszerkészítés és a nemzetközi levelezés szorosan összekapcsolódott.

A város ugyanakkor veszélyes és változékony hely volt. Az 1665-ös pestisjárvány és az 1666-os nagy londoni tűzvész drámai módon mutatta meg a korabeli urbanizáció sebezhetőségét. A Royal Society működését is befolyásolták ezek az események. A tudományos közösség nem légüres térben létezett: járvány, politikai válság, háború és gazdasági nehézség ugyanúgy alakíthatta a kutatás feltételeit, mint egy új műszer vagy elmélet.

Boyle Londonban nővérével, Katherine Jones-szal, Ranelagh vikomtnéjával élt. Katherine saját jogán is fontos intellektuális és társadalmi közvetítő volt. Házuk találkozóhelyet jelentett tudósok, politikusok, vallási gondolkodók és más látogatók számára. A testvérek kapcsolata arra emlékeztet, hogy a korai modern

HÁTTÉRGYÁR

tudomány társadalmi infrastruktúrája részben háztartásokban működött. A szalon, az étkező és a magánkönyvtár ugyanolyan fontos kapcsolati csomópont lehetett, mint a formális intézmény.

A női közreműködés a tudomány történetében sokáig háttérbe szorult. Katherine nem végzett Boyle nevéhez hasonló kísérleti programot, de levelezése, kapcsolatai és háztartási szerepe jelentősen támogatta öccse munkáját. A tudományos élethez szükséges idő, tér, információ és társadalmi kapcsolat részben olyan munkából jött létre, amelyet a korszak szerzőségi normái nem jutalmaztak önálló publikációval.

Londonban Boyle egészsége egyre nagyobb figyelmet igényelt. Már fiatalabb korában is érzékeny volt betegségekre, később pedig tudatosan korlátozta látogatóit és napi programját. Ez részben megmagyarázza írásainak és levelezésének fontosságát. Ha személyesen nem tudott minden találkozón részt venni, a szöveg és a közvetítők fenntartották jelenlétét a tudományos hálózatban.

A város egyúttal a tudás piacát is jelentette. Könyvkereskedők, nyomdászok, gyógyszerészek, navigációs szakemberek, órások és műszerkészítők éltek egymás közelében. Boyle számára ez a környezet kiválóan alkalmas volt arra, hogy különböző szakmák tudását

kapcsolja össze. A kísérleti tudomány nem az egyetem falai között született meg kizárólag, hanem a városi gazdaság kézműves és kereskedelmi világával kölcsönhatásban.

Oxford és London kettőssége Boyle életében azt példázza, hogy a tudomány helyhez kötött. Más kérdések válnak kutathatóvá ott, ahol megfelelő emberek, eszközök és intézmények találkoznak. A laboratórium önmagában kevés. Könyvek, pénz, üvegfúvó, fémműves, levelezőpartner és közönség is kell hozzá. Boyle sikere részben abból fakadt, hogy olyan helyeken dolgozott, ahol ezek a feltételek összeértek.

HÁTTÉRGYÁR

# 18. Levelekből épített Európa

A tizenhetedik század tudományos Európája nem rendelkezett gyors közlekedéssel vagy elektronikus kommunikációval, mégis meglepően sűrű információs hálózat alakult ki. A levelek hetek vagy hónapok alatt jutottak el egyik városból a másikba, de folyamatosan szállították a kísérleti eredményeket, könyvhíreket, műszerleírásokat és vitákat. Boyle ennek a „levélköztársaságnak” aktív tagja volt.

A levelezés nem csupán személyes kommunikáció volt. Tudományos infrastruktúrát jelentett. Egy holland megfigyelés angol laboratóriumban új kísérletet indíthatott, egy francia műszer leírása pedig brit változatot inspirálhatott. A természetfilozófusok olykor teljes kísérleti protokollokat küldtek egymásnak, és arra kérték a címzettet, hogy ismételje meg a próbát helyben.

Henry Oldenburg, a Royal Society titkára különösen fontos közvetítő szerepet játszott. Kiterjedt levelezésével olyan információs csomópontot hozott létre, amelyben a kontinens sok kutatója kapcsolódhatott egymáshoz. A Philosophical Transactions szintén ebből a kommunikációs szükségletből született: a kéziratos levél lassú és korlátozott terjedését részben nyomtatott közlemények váltották fel.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle levelei azt is mutatják, hogy a tudományos bizalom személyes kapcsolat kérdése volt. Nem minden hír rendelkezett azonos súllyal. A szerző hírneve, a közvetítő megbízhatósága és a megfigyelés részletessége mind befolyásolta, mennyire vették komolyan az állítást. A modern tudományban ezt részben intézményi címek, folyóiratok és bírálati rendszerek helyettesítik, de a forrás hitelessége ma is fontos.

A levelezési hálózat segített megoldani a helyi kísérlet egyik alapvető problémáját. Egy londoni laboratóriumban látott jelenség csak akkor válhatott általános tudássá, ha más helyeken is megismerték. A levél, a rajz és a nyomtatott cikk mobilissá tette a tapasztalatot. A tudomány globális jellege részben ebből a képességből nőtt ki: a helyben előállított adat utazni kezdett.

Természetesen az információ nem mozgott akadálytalanul. Háborúk, cenzúra, nyelvi különbségek és postai bizonytalanságok nehezítették a kapcsolatokat. Oldenburgot egy időben még politikai gyanú miatt is bebörtönözték, ami megmutatta, mennyire könnyen összekeveredhetett a nemzetközi tudományos levelezés a diplomáciai és hírszerzési kommunikációval.

Boyle európai hálózata azt bizonyítja, hogy a tudományos forradalom nem tisztán nemzeti történet. Torricelli olasz, Pascal francia, Guericke német, Boyle ír

születésű brit, Huygens holland volt; ötleteik és műszereik határokon keresztül mozogtak. A modern tudomány egyik alapvető tulajdonsága, a nemzetközi együttműködés, már ebben a lassú, papíralapú hálózatban felismerhető.

HÁTTÉRGYÁR

# 19. A levegőből gázok lesznek

Boyle még gyakran egységes közegként beszélt a levegőről, noha kísérletei egyre több jelenséget kötöttek hozzá. A következő évszázad egyik nagy kémiai fordulata az lett, hogy a „levegő” fogalma többféle gázzá bomlott. Ez a fejlődés közvetlenül nem Boyle felfedezése volt, de az általa kialakított pneumatikus kísérleti hagyomány fontos előfeltételt teremtett hozzá.

Joseph Black a tizennyolcadik század közepén azonosította a „fixed air”-nek nevezett gázt, amelyet ma szén-dioxidként ismerünk. Henry Cavendish „gyúlékony levegőt” vizsgált, amely később hidrogénnek bizonyult. Joseph Priestley számos különféle gázt állított elő, köztük azt, amelyet „dephlogisticated air”-nek nevezett. Carl Wilhelm Scheele hasonló időben szintén előállította az oxigént, Antoine Lavoisier pedig új kémiai rendszerbe illesztette az eredményeket.

A történeti kapcsolat Boyle-hoz nem egyszerű leszármazás. A tizennyolcadik századi kutatók más elméleti nyelvet használtak, és a flogisztonelmélet hosszú ideig uralta a kémiai magyarázatokat. Mégis közös volt az a meggyőződés, hogy a gázok befoghatók, manipulálhatók, mérhetők és különféle reakciókban vizsgálhatók. A légszivattyú és a pneumatikus edények hagyománya ennek

technikai kultúrát adott.

A gázok kutatása különösen jól mutatja, hogyan változik egy tudományos tárgy identitása. Boyle számára a levegő rugalmassága és súlya volt központi probléma. A következő generációk számára az lett a kérdés, hogy hányféle „levegő” létezik, és melyik milyen tulajdonságú. Lavoisier rendszerében végül maga a légkör is keveréknek bizonyult.

Az oxigén felismerése új értelmet adott Boyle régi láng- és állatkísérleteinek. Amit ő a levegő eltávolításának hatásaként látott, azt később részben egy meghatározott gáz hiányával lehetett magyarázni. A történeti fejlődés itt réteges: egy régi kísérlet eredménye változatlan maradhat, miközben a magyarázat teljesen átalakul.

Ez fontos tudományfilozófiai tanulság. A megfigyelés és az elmélet nem azonos élettartamú. Sok pontosan dokumentált jelenség túléli azt a fogalmi rendszert, amelyben először értelmezték. Boyle kísérleti programjának tartóssága részben ebből fakad. Nem minden magyarázata maradt fenn, de az általa létrehozott jelenségek és mérési problémák új elméletekben is értelmesek maradtak.

A levegő története ezzel a modern kémiához vezetett. A láthatatlan közegről kiderült, hogy összetett anyagi

HÁTTÉRGYÁR

rendszer. A vákuum létrehozása paradox módon hozzájárult ahhoz, hogy jobban megértsük azt, ami a vákuumból hiányzik. Boyle egyik legnagyobb öröksége éppen ez: a semmit vizsgálva a levegő vált tudományos tárggyá.

HÁTTÉRGYÁR

# 20. Nyomás, hőmérséklet és a gázok matematikája

A Boyle-törvény csak az első része lett annak a matematikai rendszernek, amellyel a gázok viselkedését leírjuk. A tizennyolcadik és tizenkilencedik században újabb összefüggéseket fedeztek fel a térfogat, a nyomás és a hőmérséklet között. Jacques Charles, Joseph Louis Gay-Lussac és más kutatók munkájából fokozatosan kialakult az ideális gáz törvénye.

A modern összefüggés, pV = nRT, egyetlen képletben kapcsolja össze a nyomást, térfogatot, anyagmennyiséget és abszolút hőmérsékletet. Boyle ezt a formulát nem ismerhette, de az ő kísérletei adták az egyik alapvető részösszefüggést. A történelemben gyakori, hogy egy korai empirikus törvény később szélesebb elmélet speciális esetévé válik.

A gáztörvények matematikai összekapcsolása önmagában még nem mondta meg, miért működnek. Erre a tizenkilencedik század kinetikus gázelmélete adott mélyebb választ. Daniel Bernoulli, majd Clausius, Maxwell és Boltzmann munkája nyomán a gáz nyomását részecskék falnak ütközésével lehetett értelmezni. A hőmérséklet pedig kapcsolatba került a részecskék átlagos mozgási energiájával.

HÁTTÉRGYÁR

Ebben a keretben Boyle régi korpuszkuláris intuíciója új, matematikai formát kapott. Nem arról van szó, hogy Boyle már előre tudta volna a kinetikus gázelméletet. Nem tudta. De az a gondolat, hogy a levegő makroszkopikus tulajdonságai láthatatlan részecskék mozgásából erednek, meglepően termékenynek bizonyult.

A valódi gázok persze nem minden körülmények között követik pontosan az ideális törvényt. Nagy nyomáson vagy alacsony hőmérsékleten a molekulák közötti kölcsönhatások és saját térfogatuk fontossá válik. Van der Waals és mások ezért módosított modelleket vezettek be. A történet ezzel ismét megmutatja a tudomány működését: a törvény nem feltétlenül abszolút igazság minden körülmény között, hanem jól meghatározott tartományban működő modell.

Boyle kísérleteinek egyik hosszú távú jelentősége tehát az volt, hogy a gázok viselkedését matematizálhatóvá tette. A nyomás és térfogat nem homályos minőségként, hanem számmal mérhető változóként jelent meg. Ez a kvantitatív fordulat később a termodinamika egészének alapja lett.

A modern technika számtalan területen használja ezeket az összefüggéseket: motorok, kompresszorok, hűtőrendszerek, búvárpalackok, repülőgépek kabinnyomása és ipari gázkezelés mind a gázok mérhető

viselkedésére épül. Boyle üvegcsöve így nemcsak egy régi laboratóriumi eszköz. Olyan mérési hagyomány kezdete, amely a modern mérnöki világban mindennapos.

HÁTTÉRGYÁR

# 21. Vákuum és villamosság

A vákuumkutatás Boyle után új területeket nyitott meg. A tizenkilencedik században egyre jobb szivattyúk készültek, amelyek sokkal alacsonyabb nyomást tudtak létrehozni, mint a tizenhetedik századi szerkezetek. Ezzel a ritkított gázok elektromos viselkedése különösen érdekes kutatási tárggyá vált.

Geissler-csövekben, Crookes-csövekben és más vákuumedényekben elektromos kisüléseket hoztak létre. A fénylő gázok és katódsugarak vizsgálata végül hozzájárult az elektron felfedezéséhez. J. J. Thomson 1897-es kísérletei már olyan világba vezettek, amely Boyle korpuszkuláris spekulációitól nagyon távol állt, de technikailag ugyanarra az alapötletre épült: a környezetből el kell távolítani a levegő nagy részét, hogy egy rejtett jelenség tisztábban vizsgálható legyen.

A vákuum az elektroncsöves technika alapjává vált. Diódák, triódák és később rádió- és televíziócsövek működéséhez alacsony nyomású környezetre volt szükség. A huszadik század első felének elektronikus forradalma részben vákuumtechnológia volt. Rádióadók, erősítők, radarberendezések és korai számítógépek ezrei használtak ilyen alkatrészeket.

HÁTTÉRGYÁR

A vákuum jelentősége itt már egészen más, mint Boyle laboratóriumában. Nem filozófiai kérdés, hogy létezhet-e üres tér, hanem gyártástechnikai feltétel. A mérnök azt kérdezi, milyen nyomást kell elérni, milyen gázok maradnak vissza, hogyan lehet elkerülni a szivárgást és milyen anyagok bírják a körülményeket.

Ez a fejlődés jól szemlélteti, hogyan válik egy tudományos probléma technológiai infrastruktúrává. A tizenhetedik században a légszivattyú különleges és drága kísérleti eszköz volt. A huszadik században vákuumszivattyúk ipari berendezések részévé váltak. A tudományos különlegesség rutintechnológiává alakult.

A folyamat közben a „vákuum” fogalma is megváltozott. A modern fizika nem egyetlen vákuumot ismer. Mérnöki értelemben különböző nyomástartományokról beszélünk, a kvantumtérelméletben pedig a vákuum nem egyszerűen teljes semmi, hanem a mezők legalacsonyabb energiájú állapota. Boyle kérdése tehát ma is él, de egészen más elméleti keretben.

A villamosság és vákuum találkozása különösen jól mutatja Boyle örökségének közvetett jellegét. Ő nem fedezte fel az elektront, és nem épített rádiócsövet. Azt a kísérleti teret azonban, amelyben a későbbi felfedezések megtörténhettek, az ő generációja tette a tudomány legitim eszközévé.

# 22. A semmi az iparban

A modern ipar számos olyan folyamatot használ, amelyben a levegő jelenléte zavaró tényező. Vákuumban csökkenthető az oxidáció, módosítható a forráspont, tisztább rétegek hozhatók létre, és olyan részecskenyalábok vezethetők, amelyek közönséges légkörben gyorsan elveszítenék energiájukat. A „semmi” ezzel ipari erőforrássá vált.

A félvezetőgyártás jó példa. A mikrochipek rétegeinek létrehozásához rendkívül tiszta környezet és precíz anyagleválasztás szükséges. Sok eljárás vákuumkamrában történik, ahol a gázösszetétel és nyomás pontosan szabályozható. A modern telefonok, számítógépek és adatközpontok működése így közvetve olyan technológiára épül, amelynek távoli történeti előzménye a légszivattyú.

A vákuumcsomagolás hétköznapibb példát kínál. Az élelmiszer körüli levegő csökkentésével lassíthatók bizonyos oxidációs és mikrobiológiai folyamatok. Itt természetesen nem tökéletes vákuumról van szó, de ugyanaz az alapelv jelenik meg: a gázkörnyezet megváltoztatása módosítja az anyag viselkedését.

A vegyiparban vákuumdesztillációt alkalmaznak olyan folyadékok elválasztására, amelyek normál légnyomáson túl magas hőmérsékleten forrnának vagy lebomlanának. A

HÁTTÉRGYÁR

nyomás csökkentésével a forráspont is csökken. Ez az összefüggés Boyle korában még nem volt teljesen kidolgozva, de a ritkított térben végzett korai forralási kísérletek már megmutatták a nyomás és fázisváltozás kapcsolatának jelentőségét.

Fémipari, optikai és felületkezelési eljárások szintén vákuumot használnak. Vékony bevonatok, tükröző rétegek és különleges anyagszerkezetek hozhatók létre úgy, hogy az atomok vagy molekulák ellenőrzött környezetben mozognak a hordozó felé. A vákuum itt nem hiány, hanem precízen kialakított munkatér.

A modern ipari vákuumtechnikában már egész mérnöki nyelv alakult ki. Beszélünk durva, közepes, nagy és ultranagy vákuumról, különböző szivattyútípusokról, szivárgásvizsgálatról és maradékgáz-analízisről. Boyle korai szerkezetének tömítési problémája ezzel professzionális mérnöki tudománnyá fejlődött.

Ez a történeti ív jól mutatja, hogy a tudományos fogalom és a technológia hogyan erősíti egymást. A jobb elmélet segít jobb szivattyút építeni, a jobb szivattyú pedig új jelenségek vizsgálatát teszi lehetővé. A vákuum ezért nem egy lezárt fejezet a fizika történetében, hanem folyamatosan fejlődő technikai környezet.

HÁTTÉRGYÁR

# 23. A vákuum az űrben

A világűrt gyakran vákuumként emlegetjük, de ez sem tökéletes üresség. Részecskék, plazma, sugárzás, por és elektromágneses mezők találhatók benne, sűrűségük azonban sokkal kisebb, mint a földi légköré. Boyle számára a vákuum mesterséges laboratóriumi állapot volt; az űrkorszakban kiderült, hogy a természet hatalmas térségei közel állnak ehhez az állapothoz.

Az űreszközök tervezésében a vákuum egyszerre előny és veszély. Nincs légellenállás, de nincs konvekciós hűtés sem. Az anyagokból gázok szabadulhatnak fel, kenőanyagok viselkedése megváltozhat, elektromos kisülések léphetnek fel, a hő pedig főként sugárzással távozik. A földi laboratóriumok vákuumkamrái ezért nélkülözhetetlenek a műholdak és űrszondák tesztelésében.

A rakétatechnika és az űrkutatás különösen látványosan fordította meg a tizenhetedik századi problémát. Boyle azt kérdezte, mi történik a földi tárgyakkal, ha eltávolítjuk körülöttük a levegőt. A modern mérnök azt kérdezi, hogyan lehet egy egész rendszert úgy megépíteni, hogy levegő nélküli környezetben működjön évekig.

Az emberi űrrepülés még közvetlenebbül kapcsolódik a nyomás kérdéséhez. Az emberi test nem képes vákuumban

életben maradni, ezért az űrhajó és az űrruha mesterséges légkört tart fenn. A kabinnyomás, oxigénkoncentráció és szén-dioxid eltávolítása életfenntartó rendszer része. A levegő fizikai és élettani szerepe, amelyet Boyle állatkísérletei kezdetlegesen vizsgáltak, itt mérnöki pontossággal szabályozott rendszer lett.

Az űr vákuuma tudományos eszköz is. Távcsövek, részecske-detektorok és anyagtudományi kísérletek olyan környezetben működhetnek, amelyet a Földön csak nagy erőfeszítéssel lehet előállítani. A Nemzetközi Űrállomás ugyan belül nyomás alatt áll, de kívül közvetlen hozzáférést biztosít a világűr környezetéhez.

A történeti folytonosság itt nem azt jelenti, hogy Boyle közvetlenül „előre látta” az űrkutatást. Sokkal érdekesebb, hogy ugyanaz az alapkérdés – hogyan viselkedik az anyag és az élet alacsony nyomáson – évszázadokon át új technológiai környezetben tér vissza. A laboratóriumi vákuum így a világűr megértésének előiskolája lett.

A semmi tehát szó szerint kitágult. Boyle üvegburája néhány literes mesterséges tér volt. A modern asztrofizika számára a csillagok közötti tér szinte elképzelhetetlen méretű ritka közeg. A kérdés azonban ugyanaz marad: mit jelent az, ha valahonnan hiányzik az a közeg, amelyhez földi életünk minden pillanatban alkalmazkodott?

HÁTTÉRGYÁR

# 24. Boyle halála és a kísérlet továbbélése

Robert Boyle 1691. december 30-án halt meg Londonban. Nővére, Katherine néhány nappal korábban távozott, és a két testvér életének közelsége a halálban is megmaradt. Boyle ekkorra Európa egyik legismertebb természetfilozófusa volt. Könyvei széles körben forogtak, kísérleti módszere pedig olyan tudományos kultúra részévé vált, amely már nem függött egyetlen személytől.

Életművét nehéz egyetlen tudományágba besorolni. Fizikai kísérletei a gáztörvények történetéhez tartoznak, kémiai munkái a modern kémia kialakulásához, orvosi érdeklődése az élettudományokhoz, vallási írásai pedig a kor teológiai vitáihoz. Mai kategóriáink visszavetítése könnyen széttördeli azt, ami Boyle számára összefüggő természetfilozófiai vállalkozás volt.

A halála utáni emlékezet azonban szelektált. A tankönyvekben főként a róla elnevezett törvény maradt meg. Ez érthető: az egyszerű matematikai kapcsolat könnyen tanítható és kísérletileg bemutatható. Ugyanakkor így háttérbe szorul az a nagyobb örökség, amely talán fontosabb is: a műszeres kísérlet, a részletes beszámoló, a közösségi ellenőrzés és az elméleti óvatosság kultúrája.

HÁTTÉRGYÁR

A tudománytörténet újabb kutatásai ezért Boyle-t egyre inkább társadalmi és technikai környezetében vizsgálják. Robert Hooke szerepe, a Royal Society intézménye, a kézművesek munkája, Katherine Ranelagh hálózata és a vallási motivációk mind olyan tényezők, amelyek nélkül az egyszerű „nagy tudós felfedezte a törvényt” történet hiányos marad.

Boyle halála után a vákuum- és gázkutatás gyorsan tovább fejlődött. A tizennyolcadik század pneumatikus kémiája, a tizenkilencedik század termodinamikája és kinetikus gázelmélete, majd a modern vákuumtechnika új jelentést adott régi problémáinak. A légszivattyúból laboratóriumi infrastruktúra lett, a levegőből gázkeverék, a korpuszkuláris spekulációból molekuláris elmélet.

Mégis van valami alapvetően boyle-i a modern tudományban. A kutató ma is mesterséges körülményeket teremt, változókat kontrollál, műszerekkel közvetett jeleket mér, és eredményeit úgy írja le, hogy mások ellenőrizhessék. A laboratórium továbbra is olyan hely, ahol a természetet szokatlan helyzetbe hozzuk azért, hogy működésének rejtett szabályai láthatóvá váljanak.

Boyle történetének ezért nem a halála a valódi befejezése. A kísérlet mint tudományos forma túlélte őt. A „semmi súlya” többé nem paradoxon volt, hanem mérési program. A világ, amelyet láthatatlan levegő vesz körül,

Boyle munkája után másképp vált kérdezhetővé.

HÁTTÉRGYÁR

# 25. Barométerek és az időjárás új nyelve

A légnyomás felismerése nemcsak a vákuum filozófiai kérdését változtatta meg, hanem az időjárás megfigyelését is. A barométer a tizenhetedik század egyik legfontosabb új műszere lett. A higanyoszlop változásai összekapcsolódtak a légköri állapotokkal, és fokozatosan kialakult az a gondolat, hogy a közelgő időjárás bizonyos jelei mérhetők. Boyle számára a barométer egyszerre volt fizikai műszer és a levegő változékonyságának bizonyítéka.

A meteorológia ekkor még messze nem volt önálló tudomány. Az időjárásról szóló tudás helyi tapasztalatokra, hajósok, földművesek és orvosok megfigyeléseire épült. A barométer, hőmérő és csapadékmérés azonban lassan standardizált adatok felé terelte a területet. Ha különböző helyeken azonos módon mérnek, az eredmények összehasonlíthatóvá válnak. Ez ugyanaz a logika, amely a Royal Society egész programjában megjelent.

Boyle érdeklődött a levegő nedvessége, nyomása és egyéb tulajdonságai iránt. A légköri változások nemcsak fizikailag, hanem orvosilag is fontosnak tűntek. A korabeli gondolkodás gyakran kapcsolta a betegségeket az időjáráshoz és a levegő minőségéhez. Bár a fertőző betegségek modern magyarázata még hiányzott, a

környezeti tényezők rendszeres feljegyzése később hasznos adatforrássá vált.

A barométer története arra is rávilágít, hogyan lesz egy laboratóriumi eszközből hétköznapi műszer. Torricelli üvegcsöve kezdetben filozófiai problémát vizsgált. Néhány évtizeddel később barométerek jelentek meg házakban, hajókon és tudományos állomásokon. A nyomás így olyan mennyiséggé vált, amelyet nemcsak különleges kísérletekben, hanem rendszeresen mértek.

A modern meteorológia természetesen sokkal több adatot használ: hőmérsékletet, páratartalmat, szelet, csapadékot, radart, műholdas méréseket és számítógépes modelleket. Mégis ugyanaz az alapelv működik, amely Boyle korában kezdett megszilárdulni: a láthatatlan légkört közvetett műszeres jelekből ismerjük meg.

A légnyomás változásának hétköznapi jelentése különösen érdekes, mert a tudományos mérés így belépett a gyakorlati döntések világába. Hajósok viharra készülhettek, gazdák és utazók figyelhették a változásokat. A mérés nemcsak elméleti tudást, hanem előrejelzési lehetőséget kínált.

Boyle számára ez a fejlemény összhangban állt a kísérleti filozófia hasznosságáról alkotott elképzeléseivel. A természet vizsgálata nem csupán intellektuális élmény

volt. A megbízható mérés gyakorlati előnyökhöz is vezethetett. A barométer így a modern tudomány egyik jellegzetes tárgyává vált: egyszerre elméleti eszköz, mérőműszer és technológiai közvetítő az ember és a környezet között.

HÁTTÉRGYÁR

# 26. Forrás hidegen: a nyomás és a hő találkozása

A vákuumkamrában végzett kísérletek egyik legmeglepőbb jelensége az volt, hogy a folyadékok viselkedése megváltozott, amikor csökkent körülöttük a nyomás. A forrásról a hétköznapi tapasztalat azt sugallja, hogy magas hőmérséklethez kötődik. A valóságban azonban a forráspont a külső nyomástól is függ. Ha a nyomás csökken, a folyadék alacsonyabb hőmérsékleten kezdhet forrni.

Boyle korában ennek elméleti háttere még nem állt rendelkezésre modern formában, de a kísérleti jelenség megfigyelhető volt. A ritkított térben folyadékok buborékolása és gőzképződése arra utalt, hogy a légnyomás szerepet játszik a forrásban. Ez újabb bizonyítékot adott arra, hogy a levegő nem passzív környezet.

A jelenség később a termodinamika és a fázisegyensúly fontos részévé vált. Ma pontosan tudjuk, hogy forrás akkor következik be, amikor a folyadék gőznyomása eléri a külső nyomást. Magas hegyen ezért alacsonyabb hőmérsékleten forr a víz, vákuumban pedig még tovább csökkenthető a forráspont.

HÁTTÉRGYÁR

Ennek a felismerésnek komoly technológiai következményei lettek. Vákuumdesztillációval hőérzékeny anyagokat lehet alacsonyabb hőmérsékleten elválasztani. Az élelmiszeripar, vegyipar és gyógyszeripar számos eljárása használja ezt az elvet. A fagyasztva szárításban a víz alacsony nyomáson közvetlenül szublimálhat a jégből, így érzékeny termékek tartósíthatók.

A kísérlet tudományos jelentősége abban is áll, hogy két fizikai változó kapcsolatát mutatja meg. A hőmérséklet önmagában nem határozza meg az anyag állapotát; a nyomás is számít. Ez a többváltozós gondolkodás a modern természettudomány egyik alapja. Ha egy jelenséget meg akarunk érteni, azt kell kérdezni, milyen feltételek között figyeljük meg.

Boyle munkája ezen a ponton túlmutat a róla elnevezett gáztörvényen. A nyomást általános kísérleti változóvá tette. Nemcsak a gáz térfogata függ tőle, hanem a folyadékok forrása, az égés, a hang és az élő szervezetek működése is. Egyetlen fizikai mennyiség különböző tudományterületeket kapcsolt össze.

A modern laboratóriumban a nyomás kontrollja rutinszerű. Boyle korában azonban ennek felismerése új gondolkodásmódot jelentett. A természet tulajdonságai nem mindig állandóak; a környezet feltételeinek megváltoztatásával új viselkedés jelenhet meg. A kísérlet

éppen azért erős, mert képes ezeket a feltételeket szándékosan módosítani.

HÁTTÉRGYÁR

# 27. Hideg, meleg és a mérés problémája

A tizenhetedik században a hőmérséklet mérése még kialakulóban volt. Léteztek termoszkópok és különféle folyadékos hőmérő-előzmények, de nem volt egységes skála, és a hő fogalma sem rendelkezett modern termodinamikai jelentéssel. Boyle mégis sok kísérletben találkozott azzal, hogy a hőmérséklet befolyásolja az anyagok viselkedését.

Ez különösen fontos a gáztörvény szempontjából. A nyomás és térfogat fordított kapcsolata csak akkor érvényes tisztán, ha a hőmérsékletet állandónak tekintjük. A gyors összenyomás felmelegíti a gázt, a tágulás hűtheti. Boyle mérései ezért olyan problémát tartalmaztak, amelynek teljes megoldásához még hiányzott a megfelelő hőtani elmélet és pontos hőmérés.

A történeti tanulság itt az, hogy egy kísérlet pontossága mindig a rendelkezésre álló mérési kultúrától függ. A mai fizikus könnyen megméri a hőmérsékletet tized vagy század fok pontossággal. Boyle korában sokszor csak azt lehetett megállapítani, hogy valami melegebb vagy hidegebb lett, vagy hogy idővel visszatért a környezet állapotához.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle ugyanakkor érdeklődött a hideg előállítása és hatásai iránt is. A korszakban különféle sók és jég keverékeivel lehetett erős hűtést létrehozni. A fagyás, olvadás és hőtágulás vizsgálata egyre több kísérleti adatot adott. A hőmérséklet ezzel fokozatosan mérhető állapotjelzővé vált.

A hőtani kutatások a következő évszázadokban alapvetően átformálták a fizikai világképet. A kalorikumelmélet után a mechanikai hőelmélet, majd a termodinamika új kapcsolatot teremtett munka, hő és energia között. A gázok pedig ideális kísérleti rendszerré váltak ezeknek az összefüggéseknek a vizsgálatára.

Boyle szerepe ebben nem az, hogy kidolgozta volna a termodinamikát. Inkább az, hogy olyan mérési problémát hagyott hátra, amely egyre pontosabb kontrollt követelt. A nyomás, térfogat és hőmérséklet kapcsolatának tisztázása arra kényszerítette a tudományt, hogy mindhárom mennyiséget precízebben definiálja.

A történet arra is figyelmeztet, hogy a ma ismert egyszerű törvények mögött hosszú műszeres fejlődés áll. Egy összefüggés csak akkor válhat számszerű törvénnyé, ha a benne szereplő változókat megbízhatóan mérni tudjuk. Boyle üvegcsöve és higanya ezért nemcsak adatot szolgáltatott, hanem új mérési igényt is teremtett.

HÁTTÉRGYÁR

# 28. Mágnesek a légszivattyú alatt

Boyle kíváncsisága nem állt meg a levegő nyilvánvaló hatásainál. Azt is vizsgálta, hogy olyan jelenségek, mint a mágnesesség, függnek-e a közegtől. Ha egy mágnes vákuumban is vonzza a vasat, az azt jelenti, hogy a hatás nem a levegő mechanikai közvetítésén alapul. Az ilyen kísérletek fontos szerepet játszottak abban, hogy elkülönítsék egymástól a különféle távolhatásokat.

A mágnesesség a tizenhetedik században egyszerre volt jól ismert és rejtélyes. William Gilbert már 1600-ban nagy hatású könyvet írt a mágnesről és a Föld mágneses tulajdonságairól, de a mechanikai magyarázat továbbra is nehéz maradt. Hogyan hathat két test egymásra látható érintkezés nélkül?

Boyle mechanikai filozófiája ösztönözte az olyan kísérleteket, amelyek kizárhatták bizonyos közvetítő közegek szerepét. A vákuum itt szűrőként működött. Ha egy jelenség megmaradt a levegő eltávolítása után, akkor nem lehetett egyszerűen a levegő mozgásával magyarázni.

Ez a kísérleti logika később az elektromosság és gravitáció kutatásában is fontossá vált. Newton gravitációja különösen nagy filozófiai vitát váltott ki, mert távolhatásnak tűnt. A tizenkilencedik századi mezőfogalom

végül új módon írta le ezeket a kölcsönhatásokat. Boyle korában azonban még az volt az első lépés, hogy kiderítsék: melyik jelenség függ a levegőtől és melyik nem.

A vákuum tehát nemcsak önmagában volt kutatási tárgy. Kontrollkörnyezetként is szolgált más erők vizsgálatához. Ha eltávolítunk egy lehetséges okot, megfigyelhetjük, fennmarad-e a hatás. Ez a kísérleti gondolkodás ma is alapvető: változókat izolálunk, kontrollcsoportot használunk, zavaró tényezőket próbálunk kizárni.

A mágneses kísérletek arra is emlékeztetnek, hogy Boyle kutatási programja szélesebb volt annál, mint amit a gáztörvény sugall. A légszivattyút univerzális eszköznek tekintette, amellyel sokféle természeti jelenséget lehet új körülmények között megvizsgálni.

Ez a szemlélet a modern kutatási infrastruktúrákban is visszatér. Egy részecskegyorsító, űrállomás vagy nagy teljesítményű mikroszkóp sem egyetlen kérdésre épül. Olyan kísérleti platform, amely sok különböző problémát tehet vizsgálhatóvá. Boyle légszivattyúja ennek kora újkori előképe volt.

HÁTTÉRGYÁR

# 29. Boyle és az alkímia árnyéka

A modern emlékezet Boyle-t gyakran úgy állította be, mint aki megszabadította a kémiát az alkímiától. Ez a kép túl éles választóvonalat húz. Boyle maga is komolyan foglalkozott olyan kérdésekkel, amelyeket ma az alkímia történetéhez sorolunk. Érdekelte a fémek transzmutációja, titkos chymiai recepteket gyűjtött, és kapcsolatot keresett olyan emberekkel, akik különleges anyagátalakítási tudást ígértek.

A tény első pillantásra zavaró lehet, ha Boyle-t kizárólag a modern kémia előfutáraként képzeljük el. A tizenhetedik században azonban az alkímia és a kémia határa nem felelt meg a mai kategóriáknak. Sok gyakorlott laboratóriumi szakember hitt abban, hogy a fémek átalakíthatók, miközben rendkívül pontos technikai eljárásokat fejlesztett ki.

Boyle érdeklődése nem puszta hiszékenységből fakadt. Korpuszculáris filozófiája elvileg megengedte az anyagok átalakíthatóságát. Ha a tulajdonságok a részecskék elrendeződésétől függenek, akkor megfelelő átrendezéssel talán egyik anyagból másik hozható létre. A transzmutáció gondolata így nem feltétlenül ütközött mechanikai világképébe.

Fontos azonban, hogy Boyle igyekezett kísérleti bizonyítékot keresni. A titkos receptek és homályos állítások zavarták. Ha egy chymista azt állította, hogy aranyat tud létrehozni, Boyle számára a kérdés az volt, megismételhető-e az eljárás és ellenőrizhető-e az eredmény.

A későbbi nukleáris fizika különös történeti csavart adott a transzmutáció gondolatának. Ma valóban lehet elemeket egymásba alakítani nukleáris reakciókkal, de ez egészen más folyamat, mint amit az alkímisták feltételeztek, és gazdaságilag nem teszi értelmessé az arany mesterséges előállítását. A modern eredmény nem igazolja az alkímiai elméleteket, de megmutatja, mennyire változhat annak jelentése, amit lehetetlennek gondolunk.

Boyle alkímiai érdeklődése tudománytörténeti szempontból azért fontos, mert megakadályozza a múlt túlzott megtisztítását. A tudomány nem úgy fejlődik, hogy a modern gondolkodók egyik napról a másikra elvetnek minden régi elképzelést. Új és régi elemek hosszú ideig együtt élnek.

A The Sceptical Chymist radikalizmusa ezért még érdekesebb. Boyle úgy kritizálta a hagyományos kémiai rendszereket, hogy közben maga is részt vett a chymiai kultúrában. A modern kémia éppen ebből a belső kritikából nőtt ki, nem egy külső szakításból.

# 30. Kísérletek a természet történetéhez

A Royal Society korai programjában fontos helyet kapott a természetrajzi információ gyűjtése. Utazóktól, kereskedőktől, hajósoktól és gyarmati tisztviselőktől érkeztek beszámolók növényekről, állatokról, ásványokról, időjárásról és különös jelenségekről. Boyle maga is érdeklődött az ilyen adatok iránt, mert a kísérleti természetfilozófiát nem szűkítette laboratóriumi munkára.

A természet története ebben a korszakban adatbázis nélküli adatgyűjtés volt. Listák, levelek, kérdőívek és tárgygyűjtemények segítségével próbálták rendezni a világ sokféleségét. A Royal Society gyakran konkrét kérdéseket küldött utazóknak: milyen a helyi levegő, milyen ásványok találhatók, hogyan változik az iránytű, milyen betegségek gyakoriak.

Boyle számára ezek a megfigyelések azért voltak fontosak, mert szélesebb összehasonlítást tettek lehetővé. Egy laboratóriumi eredmény jelentését erősíthette, ha hasonló jelenséget távoli helyen is észleltek. Ugyanakkor az utazói beszámolók megbízhatósága változó volt, ezért ismét előtérbe került a tanúságtétel kérdése.

A gyarmati kereskedelem és tudomány kapcsolata ma kritikusabb megvilágításban jelenik meg. Az európai

tudomány hatalmas mennyiségű információt és anyagot szerzett olyan területekről, amelyek fölött politikai és gazdasági uralmat épített ki. A helyi tudás gyakran közvetítő nélkül került európai gyűjteményekbe, és eredeti birtokosai nem kaptak elismerést.

Boyle saját írországi és angliai társadalmi helyzete is ebbe a birodalmi környezetbe illeszkedett. Családi vagyona részben az ír földbirtokrendszerhez kapcsolódott. Tudományos szabadsága tehát nem választható teljesen el attól a politikai-gazdasági rendszertől, amely lehetővé tette életmódját.

Ez a történeti összefüggés nem teszi érvénytelenné kísérleti eredményeit, de teljesebb képet ad a tudomány társadalmi feltételeiről. A tudás termelése mindig erőforrásokat igényel, és az erőforrások eredete történeti kérdés.

A természetrajzi adatgyűjtés hosszú távon a geológia, meteorológia, biológia és földrajz fejlődéséhez járult hozzá. Boyle korában azonban még egyetlen nagy vállalkozás része volt: a világ lehető legpontosabb leírása, hogy azután kísérlettel és összehasonlítással feltárhassák működésének rendjét.

HÁTTÉRGYÁR

# 31. Tudomány, pénz és függetlenség

Boyle tudományos pályája elképzelhetetlen lett volna jelentős magánvagyon nélkül. Nem kellett hallgatói tandíjból, udvari fizetésből vagy rendszeres orvosi praxisból élnie. Ez a függetlenség lehetővé tette, hogy költséges műszereket készíttessen és hosszú időt szenteljen bizonytalan kimenetelű kérdéseknek.

A magánvagyon ugyanakkor sajátos kutatási modellt jelentett. A tudomány finanszírozása nem állami pályázatokból vagy egyetemi költségvetésből történt, hanem mecénási kapcsolatokból, személyes vagyonból és intézményi támogatásból. A kutató szabadsága így egyéni társadalmi helyzetétől függött.

A Royal Society maga is állandó pénzügyi nehézségekkel küzdött. Királyi névvel rendelkezett, de nem kapott automatikusan korlátlan állami finanszírozást. Műszereket, helyiséget, könyveket és alkalmazottakat kellett fenntartania. A tudományos intézmény működése már ekkor gazdasági kérdés volt.

Boyle gazdagsága ezért kettős örökség. Egyrészt lehetővé tette olyan kutatások támogatását, amelyek közvetlen haszon nélkül is értékesek voltak. Másrészt emlékeztet arra, hogy a tudományos részvétel társadalmi

hozzáférés kérdése. A tehetség önmagában nem elég, ha valaki nem jut könyvhöz, műszerhez, időhöz vagy kapcsolathoz.

A modern tudomány finanszírozási rendszere más, de az alapvető dilemma megmaradt. Ki fizeti a hosszú távú alapkutatást? Milyen témák kapnak támogatást? Hogyan befolyásolja a finanszírozó a kutatási kérdéseket? Boyle magánlaboratóriuma és a mai állami vagy vállalati kutatóközpont között nagy a különbség, de mindkettő mögött gazdasági döntések állnak.

A tudomány történetében ezért a pénz nem mellékes háttér. Egy légszivattyú megépítéséhez anyag, munka és szaktudás kellett. A könyvek nyomtatása költséges volt. A levelezés postadíja, az utazás és a laboratóriumi fogyóanyag mind erőforrást igényelt.

Boyle függetlensége sok szempontból ideális kutatói helyzetet teremtett, de nem általánosítható modell. A modern tudomány egyik nagy intézményi újítása éppen az lett, hogy a kutatói pályát elvileg magánvagyon nélkül is lehetővé tette. A Boyle-korszak története megmutatja, miért volt szükség erre a változásra.

HÁTTÉRGYÁR

# 32. Kísérlet és erkölcs

A Boyle-korszak állatkísérletei és emberi bemutatói ma etikai kérdéseket vetnek fel. A modern tudományban a kutatás nemcsak módszertani, hanem erkölcsi szabályok között működik. Állatkísérletekhez engedélyezési eljárás, indoklás és jóléti követelmények tartoznak; emberi vizsgálatoknál pedig tájékozott beleegyezés, kockázatértékelés és etikai felügyelet szükséges.

A tizenhetedik században ezek az intézmények nem léteztek. Ez nem jelenti azt, hogy az embereknek ne lettek volna erkölcsi érzéseik az állatok szenvedésével kapcsolatban. A forrásokból látható, hogy a kísérleti demonstrációk érzelmi reakciókat válthattak ki. A szabályozott kutatásetika azonban csak jóval később alakult ki.

A történeti bemutatásnál két véglet kerülendő. Az egyik szerint a múlt minden gyakorlatát mai normák alapján egyszerűen el kell ítélni, anélkül hogy megértenénk a kort. A másik szerint a történeti különbség minden kritikát érvénytelenít. Valójában mindkét nézőpont szükséges: meg kell érteni a korabeli normákat, miközben világosan jelezni kell, hogy a modern etikai elvek más követelményeket támasztanak.

HÁTTÉRGYÁR

A kísérleti tudomány fejlődése új erkölcsi felelősségeket teremtett. Minél nagyobb képességet szerez a kutató a természet és az élő szervezetek manipulálására, annál fontosabbá válik a kérdés, milyen célból és milyen korlátok között használja ezt a képességet.

A modern kutatásetika részben történelmi tapasztalatokból született. Súlyos visszaélések és viták mutatták meg, hogy a tudományos érték önmagában nem igazol minden eljárást. A meg lehet csinálni és a szabad megcsinálni két külön kérdés.

Boyle történetében ez különösen élesen jelenik meg a vákuumba helyezett állatoknál. A kísérletek hozzájárultak a légzés és levegő szerepének megértéséhez, de szenvedést okoztak. A történeti jelentőség és az etikai probléma egyszerre igaz.

Ez a kettősség a modern tudománytörténet fontos feladata. A múlt eredményeit nem kell eltörölni ahhoz, hogy erkölcsi áraikról beszéljünk. Éppen ellenkezőleg: a tudomány érett önismeretéhez hozzátartozik annak felismerése, hogy a módszertani fejlődés mellett erkölcsi tanulásra is szükség volt.

HÁTTÉRGYÁR

# 33. Boyle után: Lavoisier és a mérleg forradalma

A tizennyolcadik század végén Antoine Lavoisier olyan új kémiai rendszert hozott létre, amely jelentősen átalakította az anyagokról, égésről és gázokról alkotott képet. Lavoisier munkája sok szempontból más világ volt, mint Boyle chymiája, de több módszertani vonás összeköti őket: a kísérleti kontroll, a műszeres mérés és a hagyományos fogalmak kritikája.

Lavoisier egyik legfontosabb eszköze a mérleg volt. Az égési és kémiai folyamatokat tömegviszonyok alapján elemezte, és a zárt rendszerben végzett mérések segítségével megmutatta, hogy a tömeg megmarad. A kémia ezzel még erősebben kvantitatív tudománnyá vált.

Boyle korában a tömeg mérése természetesen már ismert volt, de kémiai elméletében nem töltött be olyan központi szerepet, mint Lavoisiernél. A fejlődés azt mutatja, hogy a modern kémia kialakulása több műszeres hagyomány találkozásából jött létre: légszivattyú, pneumatikus edény, barométer, hőmérő és mérleg együtt változtatta meg a laboratóriumot.

Lavoisier oxigénelmélete újraértelmezte az égést és légzést. Boyle régi kísérletei, amelyekben a láng kialudt ritkított levegőben, új magyarázatot kaptak. A levegő nem

egységes elem, hanem gázkeverék, amelynek egyik összetevője különösen fontos az égéshez és élethez.

A két tudós közötti kapcsolat ezért nem közvetlen tanítványi lánc. Inkább módszertani örökség. Boyle segített legitimálni azt a gondolatot, hogy a kémiai kérdéseket részletes, nyilvános és ellenőrizhető kísérletekkel kell vizsgálni. Lavoisier ezt a programot új mérési pontossággal és új elméleti rendszerrel folytatta.

A kémiai forradalom azt is megmutatja, hogy egy tudományos terület nyelve időnként teljesen átalakul. Régi anyagnevek, elméletek és kategóriák eltűnhetnek, miközben sok laboratóriumi technika fennmarad. A tudomány folytonossága ezért gyakran inkább gyakorlatokban, mint elméletekben rejlik.

Boyle helye a modern kémia történetében így pontosabban fogalmazható meg. Nem ő alkotta meg a mai kémiát, és nem egyetlen könyvvel szakította el az alkímiától. Olyan kísérleti és kritikai kultúrát erősített meg, amely nélkül a későbbi kémiai forradalom nehezebben képzelhető el.

HÁTTÉRGYÁR

# 34. Mit jelent ma Boyle törvénye?

A Boyle-törvény ma alapvető fizikai összefüggés, de jelentősége jóval túlmutat az iskolai feladatokon. Búvárkodásnál a víznyomás növekedése összenyomja a gáztereket; felmerüléskor a gázok kitágulnak. Ezért veszélyes visszatartott lélegzettel emelkedni, és ezért fontos a nyomásváltozás szabályainak ismerete.

Az orvostechnikában lélegeztetőgépek, fecskendők és különféle pneumatikus eszközök működésében jelenik meg a nyomás és térfogat kapcsolata. A tüdő maga sem egyszerű Boyle-készülék, mert rugalmas szövet, felületi feszültség és aktív izommunka is részt vesz működésében, de a gázok alapvető fizikai viselkedése mégis fontos.

A gépészetben kompresszorok és pneumatikus rendszerek használják a sűrített levegőt. A gáztartályok, motorok és ipari folyamatok tervezésénél a nyomás, térfogat és hőmérséklet összefüggése nélkülözhetetlen. A modern számítás természetesen már nem áll meg a Boyle-törvénynél, hanem összetettebb állapotegyenleteket alkalmaz.

A törvény oktatási értéke abban rejlik, hogy egyszerű kísérlettel bemutatható. Egy lezárt fecskendőben a dugattyú benyomása növeli a nyomást és csökkenti a

HÁTTÉRGYÁR

térfogatot. A tanuló közvetlenül érzi a gáz rugalmasságát, amely Boyle számára alapvető fogalom volt.

A modern mérés ugyanakkor világossá teszi a törvény határait. Valódi gázok nagy nyomáson eltérnek az ideális viselkedéstől, és a hőmérséklet kontrollja nélkül a kapcsolat sem tiszta. A tudományos törvény használatához ezért mindig tudni kell, milyen feltételek között alkalmazható.

Ez a feltételesség nem gyengíti a törvényt. Éppen ellenkezőleg: a modern tudomány egyik erőssége, hogy pontosan megmondja saját modelljeinek érvényességi tartományát. Boyle eredeti kísérletei ezt még csak kezdetlegesen tudták megtenni, de a kérdés már ott volt a háttérben.

Négyszáz év távlatából a Boyle-törvény ezért kettős emlék. Egyszerre konkrét fizikai összefüggés és történeti jelkép. Egy olyan korszakot jelöl, amikor a levegő viselkedése először vált olyan számszerű törvénnyé, amelyet üvegcsővel, higannyal és gondos méréssel lehetett ellenőrizni.

HÁTTÉRGYÁR

# 35. Fény a ritkított térben

Boyle 1667-es kísérletei között a fény és a levegő kapcsolata is megjelent. A korabeli természetfilozófusokat különösen érdekelték a világító anyagok, a foszforeszcencia, a rothadó fa fénye és bizonyos tengeri élőlények világítása. A kérdés az volt, vajon ezek a jelenségek hogyan függenek a levegőtől.

A légszivattyú itt ismét olyan környezetet teremtett, amelyben egyetlen feltételt lehetett módosítani. Ha a fénylő anyag viselkedése változott a levegő eltávolításakor, az arra utalt, hogy a gázkörnyezet része a folyamatnak. Boyle nem rendelkezett a modern fotokémia, oxidáció vagy biolumineszcencia fogalmaival, de kísérletei fontos kérdéseket tettek fel a fény keletkezésének fizikai-kémiai feltételeiről.

A fény vizsgálata a tizenhetedik században gyorsan fejlődött. Hooke mikroszkópos és optikai kísérletei, Newton prizmakísérletei és Huygens hullámelmélete különböző irányokból közelítettek a problémához. Boyle ebben a nagy vitában nem vált olyan központi alakká, mint Newton, de hozzájárult ahhoz a kísérleti kultúrához, amelyben a fény többé nem pusztán filozófiai spekuláció tárgya volt.

HÁTTÉRGYÁR

A ritkított gázok és fény kapcsolata később teljesen új jelentést kapott. A tizenkilencedik század elektromos kisülési csövei látványos fényjelenségeket hoztak létre alacsony nyomáson. A neoncsövek, fluoreszcens fényforrások és plazmakísérletek mind olyan technológiai világba tartoznak, ahol a gáz nyomása közvetlenül meghatározza a kibocsátott fényt.

Ez a történet jól példázza, hogyan térhet vissza egy régi kísérleti változó új tudományterületen. Boyle számára a nyomás a levegő rugalmasságának és súlyának kérdése volt. Később ugyanez a változó atomok gerjesztését, ionizációt és elektromos kisüléseket szabályozott.

A fénykísérletek azt is megmutatják, hogy Boyle programja nem egyszerűen egy gáztörvényhez vezető egyenes út volt. Sok olyan kérdést vizsgált, amelynek eredményei nem váltak híres törvénnyé, de hozzájárultak a kísérleti repertoár bővüléséhez. A tudomány fejlődését nem csak a később sikeresnek bizonyult szálak alkotják.

Egy laboratóriumi program értékét ezért nem lehet kizárólag az alapján mérni, hány képlet viseli a kutató nevét. Boyle munkájának jelentős része kérdésfeltevésekből, eszközfejlesztésből és módszertani próbákból állt. A fény és levegő kísérletei ennek jó példái: önmagukban kevésbé ismertek, de egy új kutatási stílus részei voltak.

# 36. A reprodukálhatóság születő eszménye

A modern tudomány egyik alapkövetelménye, hogy egy eredményt más kutatók is ellenőrizhessenek. A gyakorlatban ez nem jelenti azt, hogy minden kísérletet minden laboratórium pontosan meg tud ismételni. Nagy berendezések, ritka minták vagy különleges szakértelem korlátozhatja a reprodukciót. Az elv mégis központi: a tudományos állítás nem maradhat kizárólag egyetlen személy magánélménye.

Boyle korszakában ez az eszmény még formálódott. A légszivattyú drága és nehezen kezelhető eszköz volt, ezért kevés ember tudta pontosan lemásolni a kísérleteket. Boyle részletes leírásai részben ezt a problémát próbálták áthidalni. Ha az olvasó nem tudja saját pumpával ellenőrizni az eredményt, legalább pontos képet kell kapnia arról, hogyan történt a vizsgálat.

A reprodukálhatóság társadalmi feltételei ugyanolyan fontosak, mint a technikaiak. Meg kell osztani a módszert, hozzáférhetővé kell tenni az adatokat, és olyan közösséget kell kialakítani, amelyben a kritika nem személyes támadásnak számít. A Royal Society korai ülései ennek intézményi keretét kezdték kialakítani.

HÁTTÉRGYÁR

A modern tudományban a reprodukálhatóság kérdése újra és újra viták középpontjába kerül. Pszichológiában, biomedicinában és más területeken nagyszabású ismétlési projektek mutatták meg, hogy számos eredmény nehezen reprodukálható. Ez nem feltétlenül jelenti az eredeti kutatók csalását. Lehetnek statisztikai, módszertani vagy publikációs okok is.

Boyle története azért tanulságos, mert megmutatja: a reprodukálhatóság sohasem puszta technikai részlet. Tudományos kultúra szükséges hozzá. Az eredményt olyan módon kell közölni, hogy mások hozzáférhessenek a módszerhez és kritikát fogalmazhassanak meg.

A kísérleti tudomány hitelessége ezért nem abból fakad, hogy a kutató tévedhetetlen. Éppen abból, hogy a tévedés lehetőségét beépíti saját működésébe. A másik laboratórium, a másik műszer és a másik elemzés lehetőséget ad arra, hogy a hibát felismerjék.

Boyle számára a tanúk és részletes leírások jelentették ennek korai formáját. A modern tudomány számára adatbázisok, protokollok, nyílt kód és regisztrált vizsgálatok jelenthetik. Az eszközök változtak, az alapvető kérdés azonban ugyanaz maradt: hogyan tehetjük a helyi tapasztalatot közösen ellenőrizhető tudássá?

# 37. Mérési hiba: amikor az adat nem pontos

A tudományos mérés sohasem teljesen hibátlan. Minden műszernek van felbontása, minden leolvasásnak bizonytalansága, és minden kísérleti elrendezés tartalmaz olyan tényezőket, amelyeket nem lehet tökéletesen kontrollálni. Boyle mérései különösen jól mutatják ezt, mert üvegcsövei, higanyoszlopai és tömítései a mai szabványokhoz képest durva eszközök voltak.

A mérési hiba azonban nem ugyanaz, mint a tévedés. Ha egy mérőszalag milliméteres pontosságú, akkor nem várhatunk mikrométeres eredményt. A tudományos kérdés az, hogy ismerjük-e a bizonytalanság nagyságát és hatását. Boyle korában a formális hibaszámítás még nem alakult ki, de a kutatók gyakorlati tapasztalatból tudták, hogy egyetlen mérésre nem szabad feltétlenül támaszkodni.

A nyomás–térfogat kísérletben több hibaforrás is jelen volt. Az üvegcső keresztmetszete nem biztos, hogy teljesen egyenletes volt. A higanyszint leolvasása parallaxis-hibát tartalmazhatott. A hőmérséklet változhatott. A csőben maradó nedvesség és gázok is befolyásolhatták az eredményt.

A tudomány fejlődése részben a hibák egyre kifinomultabb kezelésének története. A tizenkilencedik

században a statisztika és a legkisebb négyzetek módszere új eszközöket adott a mérési bizonytalansághoz. A huszadik században a standard deviáció, konfidenciaintervallumok és hibaterjedési számítások váltak rutinná.

A modern kísérletben a bizonytalanság feltüntetése nem gyengeség, hanem a mérés része. Egy adat hibahatár nélkül gyakran kevésbé informatív. A bizonytalanság megmutatja, mennyire erős következtetést enged meg a mérés.

Boyle munkájának értékét ezért nem csökkenti, hogy számai nem tökéletesek. Az a fontos, hogy elegendően következetes mintázatot mutattak egy új kapcsolat felismeréséhez. A tudomány gyakran ilyen helyzetből indul: zajos adatokból kell elkülöníteni a valódi összefüggést.

A mérési hiba története egyben intellektuális szerénység története. A természetet nem látjuk teljes pontossággal. A jó tudomány nem eltünteti ezt a korlátot, hanem számszerűsíti és beépíti a következtetésbe. Boyle kísérleti stílusának óvatos nyelve ennek korai kulturális megfelelője volt.

HÁTTÉRGYÁR

# 38. A laboratórium mint társadalmi tér

A laboratóriumról könnyű úgy gondolkodni, mint zárt helyiségről, ahol egy kutató és műszerei dolgoznak. Boyle műhelye azonban világosan mutatja, hogy a laboratórium társadalmi tér. Asszisztensek, kézművesek, látogatók, tanúk, szolgák és levelezőpartnerek találkoznak benne. A tudományos eredmény több ember munkájának összesűrűsödése.

A tizenhetedik századi laboratórium nem rendelkezett modern munkavédelmi szabályokkal vagy szabványos padokkal. Vegyszerek, nyílt lángok, törékeny üvegek és higany egyaránt jelen lehettek. A kísérleti munka fizikai kockázata jóval nagyobb volt, mint amit egy tankönyvi ábra sugall.

A munkamegosztás társadalmi hierarchiát is tükrözött. Boyle neve került a könyv borítójára, de Hooke műszaki tudása nélkül sok kísérlet nem valósulhatott volna meg. Más segédek neve még kevésbé maradt fenn. A tudományos szerzőség mindig válogat a közreműködők között.

A modern laboratóriumokban a helyzet részben megváltozott. Kutatócsoportok, technikusok, mérnökök és adatkezelők dolgoznak együtt, a publikációkon gyakran

sok szerző szerepel. Mégis ma is vita tárgya, ki kap megfelelő elismerést, hogyan számít a technikai munka, és milyen szerepet játszanak a kevésbé látható közreműködők.

A laboratórium társadalmi térként való megértése azért fontos, mert a tudomány objektivitását nem magányos zsenik különleges tulajdonságára vezeti vissza. A megbízhatóság inkább együttműködési szabályokból, kritikából és megosztott gyakorlatokból ered.

Boyle laboratóriuma emellett nyilvános és magánjellegű is volt. Egyes kísérleteket szűk körben végeztek, másokat társasági bemutatóként. A hozzáférés tehát szabályozott volt, és a társadalmi státusz befolyásolhatta, ki lehetett tanú.

A modern tudomány demokratikusabb ideálokat vall, de hozzáférési egyenlőtlenségek továbbra is léteznek. A drága infrastruktúrák, elit egyetemek és kutatási finanszírozás különbségei meghatározzák, ki milyen kérdést vizsgálhat. Boyle története ezért nemcsak múltbeli érdekesség, hanem tükör is: a tudomány mindig társadalmi intézmény marad.

HÁTTÉRGYÁR

# 39. Boyle Newton árnyékában és mellette

Robert Boyle és Isaac Newton ugyanannak a tudományos átalakulásnak két különböző arcát képviseli. Newton matematikai fizikája a mozgás és gravitáció univerzális törvényeit fogalmazta meg, Boyle pedig a kísérleti természetfilozófia laboratóriumi kultúráját erősítette meg. A későbbi emlékezet gyakran Newtonnak adott nagyobb helyet, mert törvényei látványos matematikai egységbe rendezték az eget és a földet.

A két megközelítés azonban nem versenytárs volt. A modern tudomány éppen abból erősödött meg, hogy a matematizálás és a kísérlet kölcsönösen támogatta egymást. Boyle nyomás–térfogat adatai matematikai mintázatot mutattak, Newton optikai kísérletei pedig laboratóriumi eszközökre támaszkodtak.

Newton maga is komolyan foglalkozott alkímiával és teológiával, ami tovább rombolja a modern és premodern gondolkodás éles választóvonalát. Boyle és Newton egyaránt olyan korszakban dolgozott, ahol a természetfilozófia, vallás és chymia még részben összefonódott.

A Royal Society mindkettőjük számára fontos intézmény volt. Newton később elnöke lett, Boyle pedig alapító

generációjához tartozott. Az intézményben a matematikai és kísérleti hagyományok együtt alakították a brit tudomány arculatát.

Boyle helyét Newton mellett azért érdemes hangsúlyozni, mert a modern tudomány nem kizárólag nagy elméletekből áll. A törvények mögött mérés, műszer és anyagi infrastruktúra áll. Ha Newton a matematikai rend egyik nagy jelképe, Boyle a kísérleti kontrollé.

A két örökség a tizennyolcadik és tizenkilencedik században egyre szorosabban összekapcsolódott. A termodinamika, elektromágnesség és fizikai kémia mind olyan területek lettek, ahol pontos mérés és matematikai elmélet együtt működött.

Boyle ezért nem Newton előszobája vagy mellékszereplője. Saját jogán képvisel egy alapvető tudományos hagyományt: azt a meggyőződést, hogy a természet rejtett összefüggéseit mesterségesen kialakított helyzetekben, közösségileg ellenőrizhető módon kell feltárni. A modern tudomány akkor lett igazán erős, amikor ez a hagyomány találkozott a matematika egyre nagyobb magyarázó erejével.

HÁTTÉRGYÁR

# 40. Hogyan lett Boyle-ból törvénynév?

A tudományos névadás külön történet. Ma természetesnek tűnik, hogy a nyomás és térfogat fordított kapcsolatát Boyle-törvénynek nevezzük, de ez nem egyszerűen az eredeti szerző saját elnevezése. A tudományos közösség később rendezi a múltat nevek, törvények és tételek köré. Ezzel könnyebbé válik az oktatás, de az összetett történet gyakran egyetlen személyre szűkül.

Boyle 1662-es eredményei valóban központi jelentőségűek voltak, de Mariotte néhány évvel később egymástól függetlenül hasonló összefüggést közölt, és a hőmérséklet szerepét világosabban kezelte. Egyes nyelvekben ezért Boyle–Mariotte-törvényként ismert a kapcsolat. A különbség jól mutatja, hogy a tudományos emlékezet kulturálisan is változhat.

Az eponimák – személyekről elnevezett törvények és egységek – egyszerre hasznosak és félrevezetők. Rövid címkét adnak egy bonyolult fogalomnak, de azt a benyomást kelthetik, hogy a felfedezés egyetlen ember egyetlen pillanatban végzett munkája volt. Valójában műszerkészítők, asszisztensek, riválisok és korábbi kutatók egész hálózata áll a legtöbb eredmény mögött.

HÁTTÉRGYÁR

Boyle esetében Robert Hooke szerepe különösen fontos. Hooke nélkül a korszerű légszivattyú és számos mérés nem valósult volna meg ugyanabban a formában. Mégsem beszélünk Boyle–Hooke-törvényről. Ez nem feltétlenül igazságtalanság tudatos döntés eredményeként; inkább azt mutatja, hogyan szelektál az emlékezet.

A tudomány történetét ezért érdemes két szinten olvasni. Az egyik a tankönyvi szint, ahol rövid elnevezések segítik a tanulást. A másik a történeti szint, ahol ezek mögött újra megjelenik a kollektív munka, a vita és a bizonytalanság. A kettő nem zárja ki egymást, de más célt szolgál.

Boyle neve fennmaradt, mert a törvény egyszerű, fontos és jól tanítható. Ez azonban különös módon el is takarhatja életművének nagyobb részét. A The Sceptical Chymist, a Royal Society kultúrája, vallási írásai és kísérleti módszertana kevésbé férnek el egy képlet mellett.

A négyszázadik születési évforduló ezért jó alkalom arra, hogy Boyle nevét visszakapcsoljuk ahhoz a történeti világhoz, amelyből a törvény született. A képlet mögött ott van az üvegcső, a higany, Hooke műhelye, Hobbes kritikája és egy új tudományos kultúra kialakulása. Ettől a törvény nem lesz kevésbé elegáns; inkább gazdagabb jelentést kap.

HÁTTÉRGYÁR

# 41. A vákuum, amely már nem üres

Boyle számára a vákuum kérdése arról szólt, lehet-e olyan tér, amelyből a közönséges levegőt eltávolították. A modern fizikában a szó jelentése sokkal összetettebb. Mérnöki értelemben vákuumnak nevezünk nagyon alacsony nyomású teret, de ez rendszerint még mindig tartalmaz részecskéket. A tökéletesen üres tér gyakorlati elérésének nincs reális módja.

A kvantumfizika tovább bonyolította a képet. A kvantumtérelmélet vákuuma nem egyszerű semmi, hanem a mezők legalacsonyabb energiájú állapota. A vákuumban is megjelenhetnek mérhető hatások, például a Casimir-effektus. A fogalom tehát szinte ellenkező irányba fejlődött: a semminek hitt állapot fizikailag gazdag struktúrát kapott.

Ez nem jelenti azt, hogy Boyle tévedett volna a saját kísérletei lényegében. Ő nem kvantumvákuumot próbált létrehozni, hanem a levegő szerepét akarta vizsgálni. Kísérleti kérdése a kor technikai és elméleti lehetőségeihez igazodott, és ezen a szinten rendkívül termékeny volt.

A tudomány fogalmai gyakran ilyen módon változnak. Ugyanaz a szó megmarad, miközben jelentése egyre

pontosabb vagy teljesen új elméleti tartalmat kap. Az atom, az energia, a gén és a vákuum mind olyan fogalmak, amelyek története nem egyetlen definíció története.

A modern nagyenergiás fizika vákuumrendszerei technikailag is Boyle örökségének távoli folytatói. Részecskegyorsítók hosszú csöveiben rendkívül alacsony nyomást kell fenntartani, hogy a részecskenyaláb ne ütközzön gázmolekulákkal. Gravitációshullám-detektorok és felületfizikai berendezések szintén ultranagy vákuumot használnak.

A történeti ív ezért különösen szép. Boyle üvegburája még azt a kérdést tette fel, létezhet-e mesterségesen ritkított tér és milyen hatásai vannak. A huszonegyedik század fizikája már azt kérdezi, milyen tulajdonságai vannak magának a kvantumvákuumnak. A kérdés tárgya átalakult, de a kísérleti stratégia folytonos maradt: különleges környezetet hozunk létre azért, hogy a természet addig rejtett viselkedése mérhetővé váljon.

A semmi így a tudomány történetének egyik legtermékenyebb fogalma lett. Minél pontosabban próbáltuk létrehozni, annál több mindent tanultunk arról, mi marad vissza. Boyle történetének végső iróniája, hogy a vákuum kutatása nem az ürességről, hanem az anyag, energia és mérés gazdagságát tárta fel.

HÁTTÉRGYÁR

# 42. Boyle a tanteremben

Boyle örökségének egyik legérdekesebb oldala az oktatásban él tovább. A nyomás és térfogat kapcsolatát ma is gyakran egyszerű fecskendővel, dugattyúval vagy számítógépes szimulációval mutatják be. A kísérlet lényege felismerhetően ugyanaz: egyetlen változót módosítunk, miközben figyeljük egy másik változó válaszát. A modern tanterem ezzel ugyanazt a logikát ismétli, amelyet Boyle laboratóriuma tett látványossá.

A történeti megközelítés azonban többet adhat a puszta képletnél. Ha a tanuló látja, hogy a törvény higanyos üvegcsövek, nehéz műszerek, szivárgó tömítések és viták között született, a fizika kevésbé tűnik kész igazságok gyűjteményének. A tudomány folyamatként válik érthetővé: kérdéseket tesz fel, hibázik, javít és újramér.

Ez azért fontos, mert a tudományos műveltség nem merül ki képletek használatában. Azt is jelenti, hogy értjük, miként lesz egy állításból megbízható tudás. Boyle története ehhez kivételesen jó példa. A törvény mögött ott van a mérés, a reprodukálhatóság, a műszerkritika és az a készség, hogy az elméleti magyarázatot különválasszuk a közvetlen megfigyeléstől.

A négyszázadik évforduló ezért nem pusztán emlékezés egy híres névre. Lehetőség arra, hogy a modern tudomány

egyik alapvető kérdését újra feltegyük: miért hiszünk egy mérésnek? A válasz ma is ugyanabba az irányba mutat, mint Boyle idejében. Azért, mert az eljárást dokumentáljuk, a feltételeket ellenőrizzük, az eredményt összehasonlítjuk, és lehetővé tesszük, hogy mások vitassák vagy megismételjék. Ebben az értelemben Boyle laboratóriuma ma is velünk van.

HÁTTÉRGYÁR

# Utószó – Mit tanított a semmi?

Robert Boyle története első pillantásra egy régi fizikai probléma történetének tűnhet. Egy gazdag angol–ír természetfilozófus a tizenhetedik században légszivattyúkat építtetett, higannyal töltött üvegcsöveket figyelt, és leírta a gáz nyomása és térfogata közötti kapcsolatot. A modern tudomány szempontjából azonban ennél sokkal többről van szó.

Boyle munkája megmutatta, hogy a láthatatlan jelenségeket közvetett jeleken keresztül lehet vizsgálni. A levegő nyomását higanyoszloppal, a hang közvetítő közegét halkuló órával, az égés levegőfüggését kialvó lánggal, a gáz rugalmasságát összenyomott térfogattal tette érzékelhetővé. A kísérlet fordítógépként működött: a láthatatlant megfigyelhető eseménnyé alakította.

A módszer nem volt hibátlan. A pumpák szivárogtak, a hőmérsékletet nem tudták pontosan kontrollálni, a mérések bizonytalanok voltak, és sok magyarázat később elavult. A tudomány ereje azonban nem a kezdeti tökéletességben rejlett. Abban, hogy a hibák felismerhetők, a műszerek javíthatók, a kísérletek megismételhetők és a magyarázatok lecserélhetők.

Boyle kora azt is megmutatta, hogy a tudomány társadalmi rendszer. A tényhez nemcsak természet kell,

HÁTTÉRGYÁR

hanem műszer, tanú, szöveg, intézmény és bizalom. A Royal Society, Hooke műszaki munkája, Oldenburg levelezése és a nyomtatott publikáció együtt hozott létre olyan környezetet, amelyben a helyi kísérlet közös tudássá válhatott.

A modern laboratóriumok technikailag összehasonlíthatatlanul fejlettebbek, de alapvető logikájuk ismerős lenne Boyle számára. Meghatározott környezetet teremtenek, mérőeszközökkel figyelnek, a módszert dokumentálják, majd más kutatók kritikájának teszik ki az eredményt. A kísérlet ma is kérdés a természethez, és a válasz ma is csak annyira megbízható, amennyire jól értjük a kérdés feltevésének körülményeit.

A vákuum pedig továbbra sem egyszerű semmi. Mérnökök számára nyomástartomány, fizikusok számára különleges kvantumállapot, űrkutatók számára környezet, ipari szakemberek számára gyártási feltétel. Boyle üvegburája e hatalmas tudományos és technológiai világ egyik korai kapuja volt.

Négyszáz évvel születése után ezért Boyle jelentőségét nem érdemes egyetlen törvényre szűkíteni. A legfontosabb öröksége talán az a tudományos magatartás, amely hajlandó mesterséges helyzetet teremteni, pontosan megfigyelni, kétségbe vonni a könnyű magyarázatot, és elfogadni, hogy a bizonyosság helyett gyakran gondosan

felépített bizonyítékokkal kell dolgoznunk. A semmi vizsgálata így a modern tudomány egyik legtermékenyebb történetévé vált.

HÁTTÉRGYÁR

# Kronológia

**1627. január 25.**

Robert Boyle megszületik Lismore Castle-ben, Írországban.

**1630-as–1640-es évek**

Tanulmányok Etonban, majd európai utazás; Genf és Itália meghatározó állomások.

**1643**

Evangelista Torricelli higanyos barométeres kísérletei új alapokra helyezik a vákuum és a légnyomás kérdését.

**1648**

A Pascal által kezdeményezett Puy de Dôme-kísérlet a légnyomás magassággal való változását mutatja.

**1650-es évek**

Boyle Oxfordban bekapcsolódik a kísérleti természetfilozófusok körébe.

**1650-es évek vége**

Robert Hooke Boyle számára korszerű légszivattyút épít.

**1660**

Megjelenik a New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air.

HÁTTÉRGYÁR

**1660. november 28.**

Boyle-t a Royal Society korai tagságába választják.

**1661**

Megjelenik The Sceptical Chymist.

**1661. október 2.**

Boyle levegő-összenyomási adatait rögzítő táblázata.

**1662**

A New Experiments második kiadásában részletesebb nyomás–térfogat eredmények jelennek meg.

**1665**

Elindul a Philosophical Transactions.

**1667**

Boyle új fény- és levegőkísérleteit közli a Royal Societyvel.

**1669**

Megjelenik a légszivattyús kísérletek folytatása, a második pumpa részletes ábráival.

**1676**

Edme Mariotte egymástól függetlenül közöl hasonló nyomás–térfogat összefüggést.

**1680-as évek**

Boyle Londonban folytatja kémiai, fizikai és teológiai munkáját.

HÁTTÉRGYÁR

**1691. december 30.**

Boyle meghal Londonban.

**18. század**

A pneumatikus kémia különböző gázok azonosításához vezet.

**19. század**

A gáztörvények és a kinetikus gázelmélet matematikai rendszere kialakul.

**19–20. század**

A vákuumtechnika az elektromos kisülések, elektroncsövek és modern fizika alapvető eszközévé válik.

**20–21. század**

Vákuumot használnak a félvezetőgyártásban, részecskegyorsítókban, űrtechnikában és számos ipari folyamatban.

HÁTTÉRGYÁR

# Felhasznált és ajánlott irodalom

Boyle, Robert: New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, 1660; második kiadás, 1662.

Boyle, Robert: The Sceptical Chymist, 1661.

Boyle, Robert: A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring and Weight of the Air, 1669.

The Royal Society, Science in the Making: Robert Boyle személyi és kézirattári rekordjai.

The Royal Society Archives: “Mr Boyle's experiments (with air pump)”, MS/366/3/3.

The Royal Society Archives: “An Experimentall Account of the Compression of Aire Made by Mr Boyle”, RBO/1/22, 2 October 1661.

The Royal Society Archives: “Some New Experiments about Light and Air: Tryed by Robert Boyle”, RBO/3/68, 1667.

The Royal Society Picture Library: Boyle légszivattyúinak és kísérleti ábráinak gyűjteménye.

HÁTTÉRGYÁR

Science History Institute: Full Boyle – áttekintés Boyle törvényéről és kísérleti hátteréről.

Shapin, Steven – Schaffer, Simon: Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life. Princeton University Press.

Hunter, Michael: Boyle: Between God and Science. Yale University Press.

Principe, Lawrence M.: The Aspiring Adept: Robert Boyle and His Alchemical Quest. Princeton University Press.

Golinski, Jan: Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760–1820. Cambridge University Press.

Dear, Peter: Discipline and Experience: The Mathematical Way in the Scientific Revolution. University of Chicago Press.

Westfall, Richard S.: The Construction of Modern Science. Cambridge University Press.

Webster, Charles: „The Discovery of Boyle’s Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century”, Archive for History of Exact Sciences (1965).

HÁTTÉRGYÁR

Royal Society: Robert Boyle (1627–1691), személyi és kéziratkatalógus.

Folger Shakespeare Library: New Experiments Physico-Mechanical, 1662, bibliográfiai leírás.

MacTutor History of Mathematics: Robert Boyle életrajza és munkásságának tudománytörténeti áttekintése.

Megjegyzés: a kötet az elsődleges és másodlagos források alapján önálló magyar tudománytörténeti feldolgozás. A korabeli terminusokat a mai olvasó számára értelmezve használja, és külön választja a történetileg dokumentált eredményeket a későbbi tankönyvi leegyszerűsítésektől. A Boyle-törvény előzményeinél Richard Towneley és Henry Power mérési eredményeit, valamint az 1662-es közlés szerepét külön tárgyaljuk. A női szellemi hálózatokról szóló kitekintés Katherine Jones, Lady Ranelagh történeti szerepét helyezi kontextusba.

HÁTTÉRGYÁR




1627-ben született Robert Boyle, a vákuum, a levegő és a kísérlet egyik nagy úttörője. Munkássága nemcsak a Boyle-törvényhez vezetett, hanem ahhoz a szemlélethez is, amely a modern tudomány alapjává tette a mérést, a megfigyelést és az ismételhető kísérletet.

Ez a könyv végigköveti Boyle útját az ír arisztokrata családtól az oxfordi laboratóriumig, a légszivattyú látványos bemutatóitól a Royal Society világán és a kémia átalakulásán át egészen a vákuum modern fogalmáig.

"A semmi súlya" nemcsak egy tudós életrajza, hanem annak története is, miként született meg a modern kísérleti tudomány.

9 786158 672341

Háttérgyár

AI-val készült borító