

A FIZIKA TÖRTÉNETE

IRTA

BAUMGARTNER ALAJOS

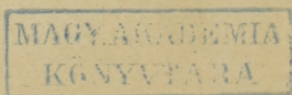
FŐGIMN. TANÁR



BUDAPEST, 1913.

STAMPFEL-FÉLE KÖNYVKIADÓHIVATAL

(Révai Testvérek Irod. Int. R.-T.) Üllői-út 18.



1. AZ ÓKOR.

Az ókori népeknél céltudatos, tervszerű, módszeres természettudományi kutatásokról természetesen nem lehet szó; bár éber figyelemmel voltak a természet jelenségei iránt, természettudományi ismeretekre nagyjában csak annyira törekedtek, amennyiben azok a megélhetést, tehát a táplálkozást, a ruházkodást, a lakóhelyek berendezését, az orvosi kezelést, stb. tökéletesítették, továbbá pedig nagyobb-szabásu alkotásoknál (építkezés, hajózás, közlekedési berendezkedések, stb.) az emberi munkát eszközök igénybevételével megkönnyébbítették.

Évszázadokon, évezredekén át az emberiség nem érezte annak szükségét, hogy a gyakorlati követelményeken túlmenjen és a természeti jelenségeket kísérleti úton tanulmányozza, azokból törvényeket levonjon, számbeli összefüggéseket megállapítson, valamint annak sem, hogy a kísérleti megfigyelések alapján a természeti jelenségek kapcsolatát megismerje és természetfilozófiai világnézetre szert tegyen. Egyedül a csillagászat terén mutatkozik a nemcsak gyakorlati követelményeket tekintetbe vevő, rendszeres megfigyelés, melynek egyik tudományos eredménye a babiloniak által megállapított számadat, hogy a nap- és holdfogyatkozások 18 évi 11 napi periodusokban megismétlődnek; a kínaiak Kr. e. 2158-ban egy napfogyatkozást figyeltek meg; az egyiptomiak évezredekén át tudták, hogy az év hossza 365 és $\frac{1}{4}$ nap, de csak Kr. e. 238-ban határozták el a szökő év használatát, mert mindaddig azt tartották kíváncsnak, hogy az ünnepek fokozatosan különböző évszakokra tolódjanak el.

a) A görögök.

A bölcselkedésre hajló görögök az elsők, kik a természetbe, mint egészbe mélyebben bepillantanak és a természeti jelenségek kapcsolatának megismerésére törekeshetnek. Kísérleteket ők sem végeznek és így nem találták meg a helyes természettudományi módszert, de felvetnek természetfilozófiai kérdéseket, melyeknek megoldása legalább a természetadta jelenségek megfigyelésére és egybevetésére kényszeríti őket. A természettudomány általában, de főleg a fizika és vele együtt az ethika és a dialektika lesz a görög filozófia egyik alapalkotó diszciplínája. A görög bölcsészet első korszakában pedig éppen a természetfilozófia viszi a főszerepet, amiért is azt kozmológiai (kozmocentrikus) korszaknak nevezzük.

Az első természetbölcsész, *Thales* (Kr. e. 624–546) a vízben látja az összes dolgok ősi alapját; a természeti jelenségek közül azt tudta, hogy a mágnes vasat és a dörzsölt borostyánkő könnyebb testeket magához vonz és valószínű, hogy megjósolta a Kr. e. 585. május 28-ikán beállott napfogyatkozást. *Anaximandros* (Kr. e. 610–545), ki az első görög bölcsészeti művet írta, egy *anyagi ősprincipiumot* (ἀρχή) vesz fel, egy meghatározatlan minőségű és végtelen mennyiségű anyagot (ἄπειρον), mely „halhatatlan és változhatatlan”, melyből a dolgok származnak és melyben ismét feloldódnak. *Anaximenes* (Kr. e. 584–524) a *levegőt* jelöli meg, mint az őanyagot, melyből sűrűsödés és ritkulás által tűz, szél, felhő, víz és föld lesz; a korongalaku földtestet is a levegő tartja. *Herakleitos* (Kr. e. 540–480) szerint az őanyag viszont az *éterikus tűz*; belőle származnak a véges dolgok küzdelem és ellenségeskedés árán, hozzája térnek azok vissza egyetértésben és békében; a tűz útján támadnak és pusztulnak megszámlálhatatlanul a világok.

E nevezett bölcsészek, a régiebb ión természetfilozófusok tehát a dolgok anyagi principiumait és a keletkezés meg elpusztulás módjait vizsgálják és az anyag meg az élet között közvetlen egységet állapítanak meg (hylozoismus).

Pythagoras (Kr. e. 571–496) nevéhez és tekintélyéhez fűződik egy másik tan, mely szerint a dolgok lényege a *szám*. A pythagoreusok rendszerét ugyan

nagyfoku miszticizmus hatotta át, valamint abban is túlmentek a realitás határain, hogy a számot határozottan a dolgok lényegének tartották és nem az anyagmennyiség mértékbeli kifejezésének eszközét és formáját látták csak benne: mindazonáltal érdemet szereztek annyiban, hogy éppen a számbeli összefüggéseket, a *mérés módszerét* alkalmazták első ízben a fizikában. Helyes érzékük az akusztikára terelte figyelmüket, melyben nagy mértékben érvényesülnek a számbeli összefüggések. Ez annál szerencsésebb munkálkodási körnek bizonyult, mert egyszersmind a *kísérletezés* első igénybevételére is adott alkalmat. A kifeszített húrokkal való kísérletek alapján megállapították már a zenei nagy tercnek 5:4 és a kis tercnek 6:5 számbeli arányát a húrok hosszúságában. Annál féktelenebb fantázia szüleménye viszont a „szferák harmoniája“, mely csak azért érdemel megemlítést e helyen, mert az elnevezés eléggé közismert. Minden gyorsan mozgó test — így magyarázták a pythagoreusok — hangot kelt és ez áll a csillagzatokról is; az egyes csillagzatok hangjának magassága pedig összefüggésben áll a csillagzatok távolságával; a szferák harmoniáját azonban azért nem halljuk, mert az születésünk óta éri fülünket, „hangérzékek pedig csak akkor válnak bennünk öntudatosakká, ha szünetek szakítják azokat félbe“.

A eleai iskola a *lét egységét*, egyszerűségét és változatlanóságát hirdette, mellyel szemben minden az érzékek által adott dolog puszta látszat; így tehát módszerében ez az iskola inkább dialektikai (a fogalmakat kifejlesztő) vagy elvont metafizikai (a tapasztalatokon felüli) jellegű; mindazonáltal a természeti jelenségek okát, a dolgok lényegét törekszik meghatározni és így tanainak összességét szintén természetfilozófiai rendszernek tekinthetjük. *Xenophanes* (Kr. e. 580—488), az első metafizikus szerint a föld és a víz minden létező dolog eleme és azt tartotta, hogy a föld lefelé, a levegő pedig felfelé a végtelenségig terjed. *Parmenides* (Kr. e. 540—kb. 470) a létezés problémáit fejtegeti és messzebb áll a fizikai kutatásoktól. *Zeno* (Kr. e. 460 körül) dialektikai virtuózkodással levezeti, hogy mozgás nem lehetséges, hogy a gyorslábu Achilles nem képes elérni a teknősbékát és hogy a repülő nyíl nyugszik; törekvése az, hogy az egység tanát megerősítse és a sokaság fogalmát meg nem állónak bizonyítsa.

Az ifjabb természetfilozófusok végre az eleai iskolával együttesen tanítják a szubsztancia változatlanságát, de viszont vele szemben e *szubsztanciák sokaságát* veszik fel. Közülük *Empedokles* (Kr. 483—423) a *négy elemet*: a földet, a vizet, a levegőt és a tüzet tekinti a dolgok anyagi principiumainak vagy „gyökereinek“ (ρίζωματα), melyek az őszállapotban egymással összekeverve voltak; az elemek elrendezését pedig két erő: a *szeretet* mint az egységesítő és a *gyűlölet* mint a szétválasztó mozgási principium eszközli. *Anaxagoras* (Kr. e. 500—428) viszont az őszanyagoknak számtalan sokaságát veszi fel mint „a dolgok magvát“ (σπέρματα); az őszanyag részecskéi valaha mind együtt voltak; amit keletkezésnek mondunk, az csak az egyneműek összekapcsolódása (σύγκρισις), amit pedig elpusztulásnak nevezünk, az valójában, csak szétválás (διάκρισις); a mozgató és alakító erő pedig, mely a kaoszból a világot megalkotta: a *szellem*, az *értelem* (νοῦς). Bámulatosan szerencsés intuíció hatotta át *Demokritos* (Kr. e. 460—370) gondolkodását, aki a mechanisztikus-atomisztikus világnézet megalapítója lett. Mig az eleai iskolához tartozó *Parmenides* kijelenti, hogy: csak a lét van, a nemlét nincs, addig Demokritos így fogalmazza az anyag szerkezetéről való felfogását: valóságban csakis a *teli* (πλήρες, στερεόν) és az *üres* (κενόν, μανόν) szerepel mint létező (ὄν) és nem létező (μὴ ὄν). Ezt a szójátékos tételt tulajdonítják neki: Μὴ μᾶλλον τὸ δὲν ἢ τὸ μὴδὲν εἶναι (éppen úgy van meg a mi, mint a semmi), melynek értelme az, hogy az anyagban van üres tér is; az anyag pedig végtelen mennyiségű, tisztán kinetikus-geometria testelemből áll: a feloszthatatlan „atomokból“ (ἄτομα, σχήματα, ἰδέαι), melyek között üres terek vannak. Figyelemre méltó, hogy Demokritos elméletét konkrét példákkal is támogatja, mint amilyenek: 1. térbeli mozgás csak akkor lehetséges, ha üres tér van, 2. ritkulás és sűrűsödés csak üres terek létezésével magyarázható, 3. az élő testek növekedése is csak abból magyarázható, hogy a táplálék a testek közeibe behatol, 4. hamuval telt edénybe vizet lehet még önteni. Az anyag felosztása azonban nem gondolható a végtelenségig, mert ily végtelenségig folytatott felosztás a semmire vezetne és így az atomoknál meg kell állni. Az atomok maguk nem lettek és válto-

zatlanok, mert a dolgok őssalkotó elemei nem származhattak másvalamiből és semmi sem oldódhatik fel a semmiben. Tekintetbe veendő azonban az atomoknál: az alak (σχήμα, a nagyság (μέγεθος) és a helyzet (θέσις); a különböző nagyságuk mellett azonban a súlyuk is különböző. Minden test az atomok komplexuma (συγκρίματα), és változása atomainak helyzet változásában áll. Így tehát minden jelenség mechanikai természetű, mert a mozgó atomok nyomásán és taszításán alapul. Az atomok és tulajdonságaik végokát nem fürkészhettük, mert örökkévalók, de a változások mind *okszertűen* mennek végbe, nincs véletlen és nincs a semmiből való teremtés.

A görög filozófia második korszaka a szofisztikával kezdődik, mely anthropologiai alapra helyezkedik és az ismerettant nem tudja tudományosan kiépíteni. Később ugyan *Sokrates* (Kr. e. 469—399) bevezette a logikai *indukciót*, mely a természettudományi kutatás legértékesebb módszere lett, de csak az etika terén alkalmazta. *Plato* (Kr. e. 429—347) a világ problémáit fejtegette, de konkrét fizikai kérdések tanulmányozásába nem bocsátkozott. Nem szerette a tudománynak gyakorlati célokra való felhasználását sem, mert abban látta a tudomány igazi hasznát, hogy az emberiséget az elvont, lényeges és örök igazság megismerésére vezeti. *Archytas* (Kr. e. 430—365) munkássága iránt, mely gépezetek szerkesztésében állott, sem mutatott rokonszenvet és azt magyarázta neki, hogy ezzel közönséges ügyességhez alacsonyította le magát, mely csak ácsokhoz és kocsigyártókhoz illő. *Aristoteles* (Kr. e. 384—322) is az egész mindenségre vonatkozó világnézet kialakítására törekszik és aránylag kevés figyelemmel van a konkrét fizikai jelenségek iránt. Szerinte az éter az első elem, mely az égboltozatot betölti, a többi négy (empedokleszi elem pedig a meleg, hideg, a száraz és nedves kombinációja. Fizikai felfogásában azonban erősen kidomborodik a mechanika, melynek alapelemeivel (mozgás, tér, idő) behatóan foglalkozik. Mint konkrét mechanikai ismereteit az egymásra merőlegesen ható erők összetételét (tehát az eredő egy speciális esetét) és az emelő egyensúlyi törvényét említik fel. Tanítványa *Aristoxenos* Kr. e. 350 körül a zene elméletét dolgozta ki, nem

többé csak a pythagoreusok számbeli viszonyai alapján, hanem az érzés tekintetbevételével is.

A fizikára nézve áldásosabb korszak Kr. e. 300 után kezdődik, amikor szaktudósok lépnek fel, kik a való természeti tényekre irányítják figyelmüket és az egyes speciális tudományokat anyaggyűjtés segítségével törekednek megalapozni és gazdagítani. *Euklides*, a nagy matematikus, (kinek munkássága a Kr. e. 300 és 280 közötti évekbe eshetett) optikai művet is írt, melyben említést tesz a fénynek ugyanabban a közegben egyenesvonalu terjedéséről, a fény visszaverődésének törvényéről, sőt még a fénytörés tüneményéről, mely miatt a vízben levő tárgyak magasabb fekvésűeknek mutatkoznak; a hangközőkről szóló akusztikai műve is említésre méltó. *Archimedes* (Kr. e. 287—212) matematikai tudását mechanikai problémák megfejtésében értékesíti; első műve is a sikok egyensúlyáról szóló két könyv, melyekben különböző *sikidomok súlypontját* határozza meg. Munkáinak későbbi könyve az *úszó testek* törvényeit tárgyalja, közöttük az I. könyv 5. tételeképpen ott találjuk a nevével kapcsolatos törvényt ebben a fogalmazásban: „Minden szilárd test, melyet, ha valamely folyadékknál könnyebb, ebbe belemártunk, oly mélyre süllyed, hogy a folyadék tömege, mely akkora mint az elmerült rész, annyit nyom, mint az egész test“. A II. könyv 5. tétele pedig így szól: „Ha valamely testet, mely könnyebb valamely folyadékknál, ebbe belemártunk, súlya úgy aránylik a vele egyenlő térfogatu folyadék tömegéhez, mint a test elmerült része az egész testhez“. E törvényben tehát benne rejlik a *fajsúly*, mint a legszükségesebb és a leghasznosabb fizikai fogalmak egyike. Egy másik nagyfontosságú eredmény, mely Archimedes nevéhez fűződik, az ú. n. koronaszámitás. Hiero király egy koronát adott át Archimedesnek, hogy ez megvizsgálja, vajjon szinaranyból való-e? Archimedes megtudta adni a feleletet; abból indult ki, hogy ha egy színültig vízzel telt edényben valamely nehéz testet elsüllyesztünk, a kiszorított víz egyenlő térfogatu a testével, a különböző testeknek azonban egyenlő súly mellett különböző térfogatuk van. A kérdés megoldása céljából a korona súlyával egyenlő súlyszinarany- és szinezüst-tömeget vett. E három test térfogatát az általuk kiszorított víz segítségével hatá-

rozta meg. Legyen az aranytömeg térfogata v_1 , az ezüsté v_2 , a megvizsgálandó koronáé v ; ha a korona súlya q , a benne foglalt aranyé q_1 , az esetleg benne foglalt ezüsté pedig q_2 , akkor $q = q_1 + q_2$; a koronában foglalt arany térfogata azonban csak

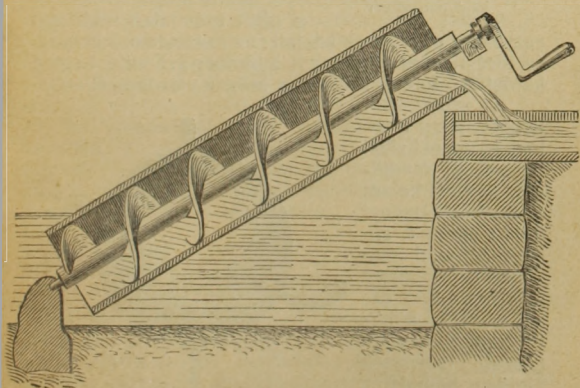
$\frac{q_1}{q} \cdot v_1$, az ezüsté $\frac{q_2}{q} \cdot v_2$ és így:

$$v = \frac{q_1 v_1 + q_2 v_2}{q},$$

miből:

$$q_2 = \frac{v - v_1}{v_2 - v_1} \cdot q.$$

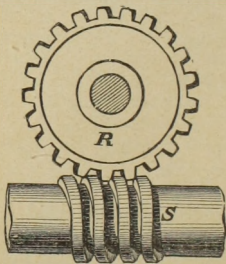
A korona tényleg nem volt szinaranyból való és Archimedes nemcsak ezt puhatolta ki, hanem a fenti számítással (melynek eszmemenetét itt algebrai módon mutattuk be) még a belekevert ezüst meny-



Az Archimedes-féle vizemelő csavar.

nyiségét is meghatározta. Gyakorlati téren is sok találmánya volt Archimedesnek; sok emelőszerkezetet készített, melyeknek alapja valószínűleg csigasor volt: nevezetes még a róla elnevezett csavar (κοχλία), melyet víz emelésére használt fel, valamint az ú. n.

végtelen csavar is. Nagy tekintélyre tett szert az alexandriai *Ktesibios*, ki Kr. e. 150 körül vízi orgonát talált fel és hajító-gépet szerkesztett, melyből sűrített levegő lökte ki a löveget *Hero* is (Kr. e. 100 körül)

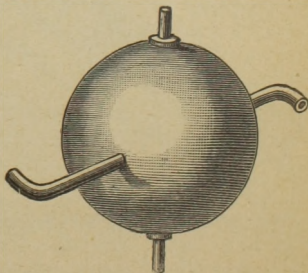


Az Archimedes-féle
végteles csavar.

sokféle készüléket talált fel: hajító-gépet, forgó gőzgolyót, automatákat, útmérőt, stb.; az ú. n. *Hero* labdája és *Hero* kútja azonban nem az ő találmánya ezek későbbi eredetűek *Hero* az optikával is foglalkozott és kimutatta, hogy az egyenlő szög alatt való visszaverődés mellett a fénysugarak útja a legrövidebb. *Ptolemaios* működése a Kr. u. 125 és 151 közé esik) a fénytörés törvényét akarta meghatározni és e célra számtalan kísérletet

eszközölt, melyeknek adatait: az összetartozó beesési és törési szögeket össze is állította; azt hitte, hogy a különböző folyadékokban e szögek viszonya állandó.

Az eddigiekből látható, hogy a tulajdonképeni fizikai tudomány rendkívül lassan haladt és kevés eredményt tudott elérni a görögöknél, ami mindenestre meglepő jelenség, mikor ezzel szemben a matematikai és csillagászati ismeretek alapján bámulatos magaslatra emelkedtek ezek a tudományok. Rendkívül élénk tudományirodalmi kritika



A *Hero*-féle gőzgolyó.

boncolgatta és boncolgatja még ma is a görög természetfilozófusok módszereit, tanait és e kritikák a legeltérőbb világításban mutatják be ezeket; egyesek rajongó bámulattal telnek el a görögöknél az egyetemességet illető tanaik iránt, mások viszont a

természet kutatására irányuló minden képességüket letagadják és erősen hangsúlyozzák a konkrét természettani tünemények objektív megfigyelésének és a kísérletek eszközlésének hiányát. Viszont ezzel szemben amazok azzal védik a görög bölcsészeket, hogy igazságtalan velük szemben az objektív megfigyelés és a kísérletezés követelése, amikor a természettudományokat csak a XVII. század beálltával kezdték ezen az alapon művelni. Annyit azonban megállapíthatunk, hogy a görög természettudósok határozottan többet mertek kimondani, mint amennyire az empirikus tapasztalatok őket feljogosították. Kalandos, fantasztikus, a tudományos és meggyőződések biztonság bátorságával és a teljes jólétesültség nyugalmaival fellépő, tetszetős és gyakran misztikus szavakat, kifejezéseket használó, merész állításokat kockáztató elméletek voltak azok, melyek egymással is ellentétben állottak (pl. *Thales* — *Anaximenes* — *Herakleitos*). Túlságosan lekicsinyelnünk vagy károsnak jeleznünk azonban nem szabad a görög tudományos módszert, mely spekulatív és nem empirikus volt, minthogy más tudományok hatalmasan fejlődtek és később a fizikában is mégis a kísérleti módszer jutott érvényre.

Az alexandriai nagy kulturális korszak után azonban a görög tudományos haladásnak vége szakadt és így *Ptolemaios* az utolsó nagy görög tudós, ki megfigyelési módszerét a csillagászaton kívül a fizikában is alkalmazta.

b) A rómaiak.

A rómaiak természettudományi irodalmában is azt a két irányt észleljük, mint a görögöknél, először a természettudományi elméleteknek, később pedig a konkrét jelenségek megfigyelésének irányát.

Titus Lucretius Carus (Kr. e. 98–55) *De rerum natura* című, hat könyvben megírt, befejezetlenül maradt tankölteményében a görög *Epikuros* (Kr. e. 342–270) művei alapján tulajdonképpen a demokritosi atomelméletet fogadta el, a világ keletkezésének és fentartásának tárgyalásában; az összes tárgyakból kiáramló részecskék hatásával iparkodott minden fizikai jelenséget megmagyarázni.

Marcus Terentius Varro (Kr. e. 116–27) *De disciplinis* című, enciklopedikus művéből, mely különben elveszett, csak a kilenc tudomány sorrendjét ismerjük: 1. grammatika, 2. dialektika, 3. retorika, 4. geometria, 5. arithmetika, 6. csillagászat, 7. zene, 8. orvosi tan, 9. építészet; a fizika, mint önálló tudomány nem szerepel közöttük.

Vitruvius Pollio, Augustus császár kortársa Kr. e. 13-ban fejezte be *De architectura* című, tíz könyvből álló művét, melyben már a gyakorlati természettudományi irány mutatkozik. Leírja *Ktesibios* és *Hero* gépezeteit, a VIII. könyvben a vízről és a vízvezetékekről értekezik, a IX. könyvben Archimedes munkásságát méltatja és közben elragadtatással emlékszik meg a három legnagyobb matematikai felfedezésről, amelyek szerinte: a négyzet átlójának irracionális volta (*Plato*), a 3, 4, 5 egységnyi oldal-hosszúságú pythagorasi háromszög és az Archimedes-féle koronaszámítás; az V. könyvben a színházak építésével és berendezésével kapcsolatban a hang terjedését és a zene elméletét tárgyalja *Aristoxenes* felfogása szerint. *Lucius Annaeus Seneca* (Kr. e. 4 — Kr. u. 65) *Quaestiones naturales* című, hét könyvből álló természettudományi műve, a római irodalom első és egyedüli fizikai tankönyve, mely az elektromos tűneményekkel, az égi jelenségekkel, az elemekkel és fénytannal foglalkozik; az atomisztikus elméletből indul ki, de főleg stoikus bölcséleti forrásokból merít. *Gajus Plinius Secundus* (Kr. u. 23–79) *Historia naturalis* című, enciklopedikus, 37 könyvből álló művének I. és II. könyve fizikáról és csillagászatról szól, de inkább csak a geofizikai jelenségekre szorítkozik. *Sextus Julius Frontinus* (Kr. u. 70-ben praetor, 97-ben Curator aquarum, a római vízvezetékek felügyelője, † 104 körül) egyik műve: *De aquis Romae liber* a római vízvezetékek tervezését, építését és fentartását tárgyalja; e műben azt a tételt találjuk, hogy a valamely edényből kifolyó folyadék mennyisége a nyílás nagyságával és a folyadékoszlop magasságával arányos (ez helytelen állítás volt; helyesen: a folyadékoszlop magasságának négyzetgyökével).

2. A KÖZÉPKOR.

A népvándorlás pusztításai évszázadokon át tehetetlenné tették a tudományok művelését. Vigasztaló jelenség azonban az, hogy nyugalmasabb idők beálltával nagyon is harcias népek nyomban kulturális törekvéseket tanúsítottak. Kétfelé kell osztanunk a középkori tudományos munkateret: az arabokéra és a keresztény tudósokéra.

a) Az arabok.

I. Abd ur Rahmaan, ki 755-ben a cordovai kalifátust alapította, ugyanekkor a tudománynak nyitotta meg az első *medresze* (mohammedán főiskola) csarnokát. Teljes pompájában virágzik e korszakban a tudomány legtöbb ága: csillagászat, matematika, orvosi tudomány, vegytan, de hajlékot találnak a bölcsészet, a filológia és a szépművészetek is. Noha az arabok nem követték a spekulatív filozófiai irányt és a *kisérlet* nagy értékére és gyakorlati jelentőségre fektettek kiválóan súlyt, a szigorúan vett fizika terén aránylag kevés vívmányt mutattak fel; a kísérleti módszer igénybevétele inkább csak a kémiának és az orvosi tudománynak vált hasznára. A fizikának különben csakis az optikai jelenségeit tanulmányozták és ebben főleg *Al Hazen* († 1038) tűnt ki; hét könyvből álló optikai művet írt, melynek tartalmából a következőket emeljük ki. Az I. könyv a szem anatómiáját és optikai eszközképen való működését írja le; a II. és III. könyv a testek optikai tulajdonságait és az optikai csalódásokat tárgyalja; a IV., V.

és VI. könyv tartalma a fény visszaverődése, melynek tárgyalásában sok geometriai feladatra terjeszkedik ki, köztük találjuk az ú. n. Al Hazen-féle problémát: meghatározandó a tükörnek az a pontja, melyből az adott pontból érkező fénysugár visszaverődve egy másik adott pontba ér (sík tükörnél a feladat megoldása egészen elemi foku, gömbtükörnél azonban már kúpszeletek érintési feladatait rejtí magában); a VII. könyv a sugártörés jelenségével foglalkozik, melyet egészen Ptolemaios eljárása szerint kísérletileg megfigyel; Al Hazen rájutott arra, hogy Ptolemaios állítása a beesési és törési szög állandó viszonyáról helytelen, de azért a törvényt még nem volt képes meghatározni.

A fizikának más terén a keleten élő *Al-Khazini* arab tudós adott számot *A bölcse ség mérlege* című, 1121—1122 táján írt munkájában hidrosztatikai tanulmányairól és kísérleteiről; elmés szerkezetű mérlege volt, mellyel a testek fajsúlyát meg tudta határozni, még pedig oly pontos eredményeket ért el, hogy a mai méréseink sem változtattak azokon jelentékenyen. *Al-Khazini* még azt is észrevette, hogy a hőmérséklet befolyással van a testek fajsúlyára. A nevezett mű különben általánosabb mechanikai fogalmakra is kiterjed, melyek közül a sebesség helyes definíciója tűnik fel.

b) A keresztények.

A keresztény fejedelmek közül a gót Theodorik császárt (454—526) illeti nagy érdem a tudományok pártolásában és művelésében. Udvarában élt *Magnus Aurelius Cassiodorus Senator* (475—570), ki később, 538 ban, sz. Benedek példáját követve, az általa alapított délolaszországi Vivarese-kolostorba vonult vissza és ott ernyedetlen szorgalommal a tudományoknak élt, szerzetestársait is a tudományos munkásságra ösztönözve, mely főleg a régiek iratainak lemásolásában nyilvánult. Hatása alatt így értékes könyvtár keletkezett csakhamar a kolostorban. Ő maga pedig a legváltozatosabb munkásságot fejtette ki. A természettudományokat illető műve a *De Artibus ac Disciplinis Liberalium Artium* című 7-szakaszos enciklopédiája, melynek egy-egy szakasza egy-egy művé-

szetet, tudományt tárgyal ebben a sorrendben: grammatika, retorika, dialektika, aritmetika, zene, geometria, csillagászat. Hasonló szellemben működik a nagyműveltségű *Anicius Manlius Torquatus Severinus Boethius* (481–524) is; munkássága a régiek matematikai és filozófiai műveinek fordításában, feldolgozásában és magyarázatában áll; tőle ered a *quadrivium* elnevezés, a hét művészet, tudomány egyik csoportjának: az aritmetika, geometria, zene és csillagászat összefoglalására (a grammatika, retorika és dialektika pedig később a *trivium* nevet kapta); fizikai téren a *De Musica* öt kötetes irata érdemel említést, mely műve a görög hang- és zene-rendszert tárgyalja. *Isidorus Hispalensis* (570–636), sevillai püspök is nagyban hozzájárult a régiek tudásának összegyűjtéséhez és *Origines* című enciklopediája főleg a rómaiak tudományát foglalja össze 20 könyvében; műve háttérbe szorította a régebbieket és hosszú időn át a tudomány közvetlen forrásául szolgált. Egy századdal később az északi Anglia egyik kolostorában fejtí ki munkásságát a benedek-rendi *Beda* (672–735), a *venerabilis* (tiszteletreméltó), ki nagy matematikai munkásságában a természet-tudományokra is kiterjed, bár még mindig az elődök szellemében. Tudományos és didaktikai érdemeket szerzett magának *Alcuin* (735–804), mert a szerzeteseket tudományos munkásságra buzdította, nagyszámu iskolát alapított és Nagy Károly udvarában való tartózkodása alatt a kulturának és tudományos képzettségnek a birodalomban való terjesztésében fáradhatatlanul részt vett. Kulturális művét *Hrabanus Maurus* (776–856) folytatta, ki az összes tudományokat ölelte fel, habár önálló kutatásokat nem végzett. Főművének címe *De Universo* 22 könyvből áll; közülük a IX. szól az atomokról és az elemekről, teljesen az Aristoteles-féle felfogásban; a meteorológiai jelenségekről is e könyvben van néhány fantasztikus magyarázat. Nagyon kedvező fordulat volt a tudományra, hogy 999-ben korának egyik legképzettebb egyházi férfija, *Gerbert* (930–1003) a pápai székre került; sokat fáradozott a római tudományos írók, főleg Boethius műveinek fentartásában és terjesztésében, kitűnő szaktudós volt a csillagászat, matematika és geometria terén, nagy része volt a tudósok körében akkor már ismert indus

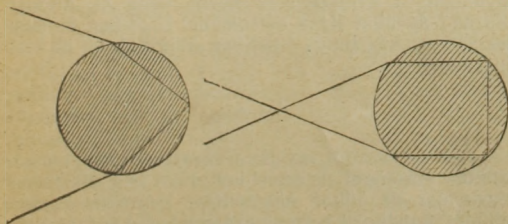
(köznnyelven : arab) számjegyek terjesztésében, geometriát írt és sok ideig természettani és kémiai találmányokkal is foglalkozott.

A XIII. században új szellemi fellendülés mutatkozik. A két nagy szerzetesrend : az assisi sz. Ferencé (1182—1226) és a sz. Domonkosé (1170—1221) uralkodik a filozófiai és a theologiai gondolkodáson, munkásságon és tanításon. Az új irány abban mutatkozik, hogy Aristoteles iratait teljességükben tanulmányozzák és ismertetik a nyugati, keresztény tudományban. Mert mindeddig csak a római írók tudását dolgozták fel közvetlenül, Aristotelesét pedig csak annyiban, amennyire az emezen alapult. Aristoteles iratait közben csak Keleten méltányolták, ahol görögből szir nyelvü, ebből arab fordításokat készítettek, Nyugaton pedig az arabból készült latin fordításokból ismerte meg a keresztény-világ a nagy görög filozófus tanait hézagosan, töredékesen. Egyházi hatóságok és a párisi Egyetem részéről tilalmak érték az aristotelesi tanok terjesztését célzó törekvéseket, de hatástalanoknak bizonyultak : 1237 óta semmi sem akadályozta többé a nagy görög bölcs rendszerének a keresztény kulturába való diadalmas bevonulását. A *szkolaszticizmus* — így hívjuk a kb. 1000 óta az egész középkor gondolkodását és szellemi életét irányító korszakot — ezentúl kettős irányt követ : a theológiában a kinyilatkoztatott hit álláspontjára helyezkedik, a filozófiában pedig az aristotelesi forrásokból merít a tudományok számára *Albertus Magnus* (1193—1280) dominikánus szerzetes, a *doctor universalis* volt az első, aki Aristoteles tanait a német tudományba bevezette és magyarázta, de annak hézagait, nevezetesen az ásványtan és növénytan anyagában, már a saját tudásával betöltötte ; vegytani, fizikai és mechanikai foglalatalkodásaival még a bűvészet gyanujába is került. *Roger Baco* (1214—1294), a ferencrendi *doctor mirabilis* már konkrét tudományos kutatásokba mélyedt, főleg az optika terén. A homoru gömbtükröknél meghatározta a gyújtópontot és kimutatta, hogy ugyanezeknél az egy pontból visszaverődő fénysugarak nem találkoznak egy pontban, de a parabolikus homorú tükröknél viszont igen. A szivárványt, mint a Napnak az apró vízcseppekben számtalanszor visszatükröződő képét

magyarázta. A Föld gömbalakjáról is értekezett, de itt már nagyon kalandos állításokat kockáztatott: a vízfelület gömbalakját — mondta — már egy pohár vizen észlelni és miután mélyebb helyen a felület görbülete nagyobb, ott még egy kis vizet lehet önteni a már teljesen megtöltött pohárba (!). Kémiával is foglalkozott és volt egy vízben égő és egy a lőporhoz hasonló robbanó keveréke, melynek egyik alkotó része szintén salétrom volt.

Az optika gyakorlati alkalmazása csak a szem-üvegre szorítkozik; feltalálója valószínűleg az 1317-ben meghalt firenzei *Salvino degli Armati* volt (1285), mások ugyan *Alessandro della Spina* († 1313) pisai szerzetest mondják annak.

A fénytannal elméletileg továbbra is nagy előszeretettel foglalkoztak. A lengyel származású *Witelo* (*Vitello*) Olaszországban szerezte optikai ismereteit és 1270 körül Al-Hazen tanait magyarázta; ő is a fénytörést tanulmányozta behatóan, de táblázataiban a fénynek a sűrűbb anyagból a ritkábbba való átlépésénél helytelen adatokat találunk; a szivárványra vonatkozólag jelzi, hogy az a fénytörés tünete, de az igazi magyarázatát még nem tudja megadni, noha ismeri már a fény törését az üvegprizmában és vízzel töltött golyókban. *John Peckham* (1228—1291), Canterbury érseke is fénytani művet írt Al Hazen nyomán (*Perspectiva communis*) a fény terjedéséről, visszaverődéséről és töréséről. Végre pedig még megemlítendő *Theodoricus de Saxonia* 1311-ben készült *De radialibus impressionibus* című műve,



A főszivárvány
keletkezése.

A mellékszivárvány keletkezése.

mely a szivárvány keletkezését helyesen a fénytörésből magyarázta, bár a színeket nem tudta megokolni. Valamivel előbb azonban már *Al Sirazi* (1236—1311) perzsa tudós is megmagyarázza a főszivárványnak kétszeri törésből és egyszeri visszaverődésből, a mellékszivárványnak pedig kétszeri törésből és kétszeri visszaverődésből való keletkezését; a tüneményt üveggolyókkal kísérletileg is igazolta, mely alkalommal a színek is mutatkoznak; a szivárvány ívét pedig, mint oly egyenes kúp alapkörének ívét jelölte meg, mely kúpnak csúcspontja a szemlélő szeme.

A középkor találmányai közül nagy jelentőségű a *mágnestű*, melyet a kínaiak már a Kr. u. II. század óta használtak, de amely eszköz Nyugaton csak 1181 óta vált ismeretessé.

A nagy horderejű találmányok közül itt végre a *puskapor* feltalálásának felemlítése is eléggé helyén való. Feltalálásának története ugyan nem oly tisztázott, mint amennyire a közhiedelem annak tartja. A kínaiak és az arabok már nagyon régi időkben ismertek bizonyos gyújtó keverékeket; a VIII. és XII. század között élő *Marcus Graecus* már salétromból, kénből és szénből álló gyújtó anyagokról tesz említést Németországban egy *Berthold Schwarz* nevű ferencrendi szerzetesnek tulajdonítják a puskapor feltalálását, amire egy salétromból kénből és higanyból, mások szerint salétromból, kénből, ólomból és olajból álló keverék felrobbanása vezette volna 1259-ben (de más évszám is szerepel: 1320). Azt tartják, hogy az arabok használtak először puskaport ágyúkbán, a keresztények közül pedig XI. Alfonso használt ágyúkat Baza ostrománál 1323-ban. Németországban (Augsburg) 1340-ben állították fel az első puskaporgyárt.

* * *

A XV. századot majdnem egészen a középkorhoz szoktuk számítani, de óriási kulturális fellendülésénél fogva már az ujkor megnyitója. Erőteljes tavaszi fejlődés mutatkozik a szellemi élet minden ágazatában; *renaissance* (ujjászületés) névvel illetjük e kort, melynek értelme az, hogy az antik világ szelleme támad

fel újra ez időben; ezt azonban nem kell szigorúan úgy értelmezni, hogy a korszellem visszatér az antik világhoz — ennél többet produkál: egészen új irányt teremt és az antik világgal inkább úgy áll rokonságban, hogy az emberiség általánossága a haladás szükséges voltáról meggyőződve, a szellemiekkel való foglalkozásban rejlő élvezetektől áthatva, óriási energiát fejt ki a művészetek és immár a tudományok terén is. Az irodalomban már egy századdal előbb jelentkezik ez a hajnalpirkadás: *Dante Alighieri* (1265—1321) hatalmas műve, a *Commedia* oly bátorsággal, oly fölényvel, oly erkölcsi igazságtevessel szólal meg, hogy öntudatra ébred az emberiség: minden ember érzi saját egyéniségének súlyát, tehetségeinek és kiválóságának értékét, a nagy általános emberi munkában való részvételének jogát és kifejődik benne az emberi öntudat és méltóság legnemesebb kifejezése, az individualizmus.

A szintén már a XIV. század folyamán fellendült építészet további fejlődésével párhuzamosan a XV. században, főleg az Arno-parti szépséges Firenze városában, a festészet és szobrászat teremt bámulatos alkotásokat, a könyvek szeretete szinte a mániáig fokozódik, a görög filológia a legintenzívebb tevékenységet fejt ki, a történeti kutatás módszer lesz, a filozófia nagyúri házakban hajlékot talál, a Németországban feltalált könyvnyomtatás a legértékesebb szellemi termékekkel ajándékozza meg az emberiséget, a világtörténeti jelentőségre emelkedett Savonarola (1452—1498) morális nagyságának, hozzáférhetetlen egyéniségének érzetében a pápát, mint vele egyenrangú, de az erkölcsi talajt elvesztett egyházi embert a legélesebb kritika alá veti.

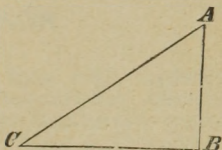
Az egyéniség érzetében rejlő bátorságra a tudományban is szükség volt, ahol szabadabb felfogás könnyen bajt okozhatott a merészebb gondolkodónak. Mindenekelőtt az aristotelesi felfogás érinthetetlen tekintélyét kellett megbolygatni ama természettudományi tények hangsúlyozásával, melyekkel amaz ellentétben állott. Az első ily merészebb gondolkodó *Nicolaus Cusanus* biboros (1401—1464) volt, ki *De docta ignorantia* a tudós tudatlanságról) című művében kimondta, hogy a Föld is olyan csillag, mint a többi, hogy nagyobb a Holdnál, kisebb a Napnál, amit a fogyat-

kozások eléggé bizonyítanak. A legfontosabb állítása azonban az, hogy *a Föld is, oly csillag lévén, mint a többi, saját tengelye körül forog*, természetesen 24 óra alatt; a Nap látszólagos félévi emelkedését és félévi süllyedését is tekintetbe véve, felteszi, hogy a Föld az Egyenlítőben fekvő két pólus körül egy évig tartó ingó mozgást végez, végre pedig a Földnek még egy, a világsarkok körüli mozgását is felveszi. Cusanus különben kitűnő matematikus és csillagász volt és mint ilyen a naptárjavítást célzó tervezetét mutatta be a baseli zsinatnak, aminek azonban még nem lett foganatja. Egy dialogus-formában írott műve van még sztatikai kísérletekről, melyben többek között a kifolyt vízmennyiség súlya alapján történő időmérésről, összepréselt gyapjából álló higroszkopról és egy mélységmérőről van szó. Természettfilozófiai felfogásában is a szkolasztikusból egy újabb filozófiába való átmenetet észlelünk. A megismerésről kimondja, hogy annál biztosabb, minél jobban közeledik a matematikai belátáshoz. A megismerésnek pedig négy fokozatát állapítja meg a következőkben: 1. az érzékek (sensus) a legalacsonyabb fokozatot képviselik, mert csak határozatlan és meg nem értett képzeteket szereznek; 2. az értelem (ratio), mely osztályoz, disztingvál; 3. az ész (intellectus) szintetikai uton a magasabb egységeket állapítja meg; 4. a fogalmakon felüli misztikus „visio intellectualis“.

Nagy magaslaton állott a XV században a csillagászat, melynek keretében a naptárjavítás foglalkoztatott sok tudóst. Nagy hatással voltak a Földre vonatkozó mérések, melyeknek megbízhatósága megérlelte és lehetővé tette a század legnagyobb eredményét: Amerika fölfedezését.

A XV. század utolsó harmadában egy nagy elme végez óriási szellemi munkát jobbra csendes visszavonultságban: *Leonardo da Vinci* (1452 - 1519), ki nem kevesebb, mint rajzoló, festő, szobrász, építész, hadi mérnök, költő, zenész, anatómus, matematikus, fizikus és feltaláló egy személyben. Teljesen módszeres tanulmányokat végez a mechanika sztatikai részében és megfigyeléseket tesz dinamikai tekintetben. A sztatikában az emelő egyensúlyi törvényeit állapítja meg és ennek alapján a csigáét, a lejtőét és az ékét is. A testek szabad esését is megfigyeli

és észreveszi, hogy az egyenlő időközökben megtett utak számtani haladványt alkotnak, továbbá észrevette a nagy magasságból eső testeknek keletre való eltérését, amit egészen helyesen a Föld forgásával magyarázott; viszont azonban még az aristotelesi iskolával egyértelműen azt tartja, hogy súlyosabb test gyorsabban esik, mint könnyebb. Nagy figyelmet fordított a testeknek a lejtőn való esésére és azt a törvényt találta meg, hogy az AC lejtőn eső testnek annyszor több idő kell az AB magasság mentén eső testnél, mint ahányszor a AC hosszabb az AB -nél; a köríven eső testről tudja, hogy azon az esési idő kisebb a hozzája tartozó körhúron, de kissé elhamarkodva az a meggyőződése, hogy a körív egyszersmind a legrövidebb esési görbe (pedig a ciklois az). Az erőről igen helyes és világos fogalma van; az ütközésnél már igen rövid ideig működő erőről szól; már a perpetuum mobile lehetetlenségét is vallja. A hidrosztatikából ismerte Archimedes törvényét, a közlekedő edényekét pedig két különböző fajsúlyú folyadék esetében is. Az akusztikában felfedezte egyenlő hangolási húrokkal és hangokkal való kísérletezés alapján a rezonanciát és tudta, hogy a víz jobban vezeti a hangot, mint a levegő. Az optikát egy camera obscura felfedezésével gazdagította. Nagy gondot fordított a hullámmozgásokra és hogy mennyire egységesen látja e tünetmenyeket, azt e mondata bizonyítja: „A hangok és a fény hullámait ugyanazok a mechanikai törvények igazgatják, mint a víz hullámait.” Legmeglepőbb azonban ez a kijelentése: „A beesési szög sinusa és a törési szög sinusa közötti viszony mindig ugyanaz marad.” Nagyon sajnálatos körülmény, hogy Leonardo művei három századon át érintetlenül heverték a könyvtárakban és így nem hathattak termékenyen a kortársaira; ha műveit ismerik, a fizikai tudomány nem szenvedett volna akkora késést, mint amelyet a szellemi élet minden ágazatában mutatkozó haladással szemben éppen itt tapasztalunk. Hogy pedig Leonardo mily becses módszertani



Lejtő.

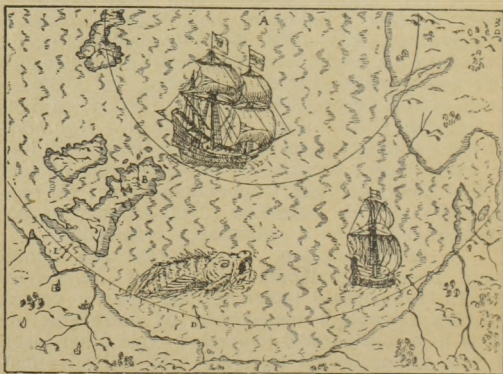
útmutatást adott, azt többek között műveinek eme mondataiból kilátni: „A tapasztalás megismerteti velünk a természet csodálatos műveit; sohasem csal. De igenis csalatkozik saját felfogásunk, ha tüneményeket vár, melyeket a természet nem is nyújt. A legkülönbélebb körülményeknél a tapasztalást kell megkérdoznünk, hogy belőle általános törvényt nyerjünk . . . Tudományos bizonyosságnak matematikailag tárgyalhatónak kell lennie . . . A természet egyesegyedül az elme tanítója . . .”

3. AZ UJKOR.

A XVI. század közepe táján nagy horderejű lépés történik a tudomány haladásában: *Nicolaus Copernicus* (1473—1543) 36 évi fáradhatatlan munka után arra az eredményre jut, hogy a Ptolemaios-féle geocentrikus elmélet tarthatatlan és a következő, sokkal egyszerűbb rendszert fejti ki: a Föld a tengelye körül forog, egy év alatt a *Nap körül kering* és azonkívül az egyenlítői tengely körül ingó mozgást végez; Cusanussal szemben tehát új tétel a Nap körüli keringés Copernicus műve: *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) azonban nagyon kevésbé keltette fel a csillagászok érdeklődését.

A tulajdonképpeni fizika terén még mindig nagy pangás uralkodik. *Franciscus Maurolykos* (1494—1575) optikai tanulmányokat tett; a camera obscura jelenségét magyarázta és észrevette azt, hogy ú. n. planparallel lemezeken való áthatolásnál a fény párhuzamosan eltolódik; a fénytörésre vonatkozólag azonban még mindig a Ptolemaios-féle hamis törvényt hirdeti, hogy a beesési szög és a törési szög aránya állandó. Ugyancsak optikai tanulmányokkal foglalkozott *Giambattista della Porta* (1538—1615), ki egy laterna magica-t szerkesztett és a homorú tükröknél mutatkozó fényvisszaverődést tanulmányozta; della Porta azonban a mágnesség terén is tett megfigyeléseket: tudta, hogy vas mágnessel való végighúzással mágneses lesz és észrevette a mágneses pólusok keletkezésének törvényét, valamint ismerte a „barátságos” és „ellenséges” sarkok egymás iránti viselkedését. Így tehát a XVI. században a mágnesség terén is némi haladást

észlelünk, ahol ezeket az adatokat említhetjük fel: *Georg Hartmann* (1489—1564) volt első, aki a mágnesű inklinációját észrevette (1544); kezdetleges eszközeivel azonban csak 9° -nak találta; az angol *Norman* 1576-ban Londonban már eléggé pontosan $71^{\circ}50'$ -ben határozta meg és azt a gondolatát hangoztatta, hogy a Föld bármely pontján elhelyezett inklinációs mágnesű a Föld belsejének egy állandó pontja felé mutat. *William Gilbert* (1540—1603) már a Földet magát is mágnesnek tekintette és ebből magyarázta az inklinációt, de azt hitte, hogy a Föld mágneses sarkai összeesnek annak földrajzi sarkaival. A mágnesűnek már 1497 óta ismert deklinációjára pedig, melyet mappán is feltünteteti, az a



Gilbert deklinációs mappája.

kalandos magyarázata volt, hogy azt a szárazföld és a víz egyenetlen elosztása idézi elő, minthogy a Föld szilárd tömege mágneses, a víz pedig a mágnességgel szemben közömbös. Becsesek azonban a kísérletei, melyekkel megállapította, hogy a mágnes fegyverzet alkalmazásánál erősödik, hogy az acélrúd a délkör, de főleg a lehajlás irányában elhelyezve, mágneses lesz és azt észlelte, hogy eltört mágnes minden darabja külön-külön mágnes lesz, holott előbb azt hitte, hogy a mágnes eltörése által a

kétféle mágnesség szétválasztható. Gilbert kísérleti munkássága annál értékesebb, mert azt a villamosságra is kiterjesztette: megvizsgálta a testek magatartását a dörzsöléssel szemben és ennek alapján azokat az elektromosokká válók (üveg, gyanta, hegyi kristály, gyémánt, stb.) és azokká nem válók (fémek, csont, fa, márvány, elefántcsont, stb.) osztályába sorozta. Továbbá figyelt a mágnesség és az „elektromos erő” (így nevezte) közötti különbségre is: az elektromosság a nedvességben elvész, míg a mágnességre ez nincs befolyással, az elektromosság csak dörzsölés esetében keletkezik, a mágnesség állandó, az előbbi csak könnyű tárgyakat képes emelni, az utóbbi aránylag nagy terheket tart.

Jelentékeny eredményekre jutott *Simon Stevin* (1548—1620), hollandi gátfelügyelő a mechanikában, bár nem tudtak sokat azokról, minthogy a szerző anyanyelvén adta ki munkáját. Legnevezetesebb tétele az erők parallelogrammájáról szóló, melyet úgy fogalmazott meg, hogy három, egy pontra ható erő akkor van egyensúlyban, ha belőlük háromszög alkotható (nagyság és irány megtartásával). A hidrosztatikában megállapította, hogy a folyadék feneknyomása nem az edény alakjától, hanem csak a folyadék felszínének magasságától és nagysága annak a folyadékoszlopnak súlyával egyenlő, mely az illető fenékterületen nyugszik. Megvizsgálta az oldalnyomást is és a közlekedő csövekre vonatkozó egyensúlyi feltételekből kifejtette a hidraulikus sajtó alapelvét. Az úszó testről pedig megállapította, hogy az akkor van egyensúlyban, ha súlypontja a test által kiszorított folyadéktömeg súlypontja alatt, vele egy függőleges vonalban fekszik.

Galileo Galilei (1564—1642).

A XVII. századot Galilei munkássága nyitja meg, mint a teljesen tudatos, módszeres, kísérleti megfigyeléseken és igazolásokon alapuló tudományos kutatás korát. 1583-ban — mint mondják: a pisai dóm egyik függő lámpájának ingását megfigyelve — felfedezte az ingalengés izokronizmusát. Archimedes műveinek tanulmányozása, a „bilancetta” nevű hidrosztatikai mérleg felfedezését eredményezte (1586, mellyel

a testek fajsúlyát volt képes meghatározni; a különböző testek súlypontjának meghatározásáról szóló irata is e tanulmányokkal állott összefüggésben. 1590-ben a különböző súlyú testek egyenlő idejű eséséről szerzett magának meggyőződést a pisai ferde tornyon végzett esési kísérletek alapján. A kilencvenes évek folyamán Padovában az esés törvényeit tanulmányozta. Abból indult ki, hogy a nehézségi erő állandóan hat az eső testre, minek következtében a sebesség az idővel arányosan növekszik, tehát $v_1 : v_2 = t_1 : t_2$; grafikus módon kimutatta azután, hogy ez a mozgás fél végsebességű egyenletes mozgással helyettesíthető és így az utak aránya ez:

$$s_1 : s_2 = \frac{1}{2} v_1 t_1 : \frac{1}{2} v_2 t_2 ;$$

ez az aránylat egybevetve az előbbivel:

$$s_1 : s_2 = t_1^2 : t_2^2$$

aránylatot adja, melyből levonhatta a törvényt, hogy a szabadon eső test által leírt utak az idők négyzeteivel arányosak. Törvényét kísérletileg a lejtőn való esésen igazolta, miután kimutatta, hogy a lejtőn való gyorsulás úgy aránylik a szabadon eső test gyorsulásához, mint a lejtő magassága annak hosszához. A hajított test pályáját mint parabola-ívet ismerte fel, melyet a levegő ellenállása többé-kevésbé eltorzít; kísérleti bemutatásainál itt is lejtős sikot használt. Az inga mozgására vonatkozólag arra a törvényre jutott, hogy különböző hosszúságú ingák lengésidejei úgy aránylanak egymáshoz, mint az ingák hosszainak négyzetgyökei. Az elvi jelentőségi törvények közül a tétlenségi törvényt fejezte ki általánosabb alakjában is: „A test nem képes magától mozgási állapotát megváltoztatni“. Az erők paralelogrammája is szerepel mechanikájában és az egyszerű gépek törvényeit a virtuális sebességek elvéből vezette le és megállapította azt, hogy minden erőbeli nyereség sebesség veszteségével jár és megfordítva.

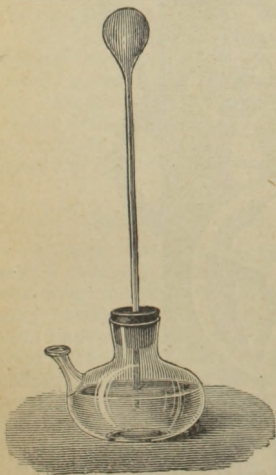
A folyadékokra vonatkozó nézeteiben azonban még az aristotelesi felfogást vallja, hogy azoknál a „horror vacui“, az ürességtől való irtózás nyilvánul meg a természet részéről; így magyarázták a víznek elnyomulását oly csövekbe, melyekből a levegőt

kiszívjuk; Galilei azt vélte, hogy ő e „horror vacui“ nagyságát tudta megmérni, amikor megállapította azt, hogy szívókútban a víz csak 18 firenzei rőf (10 m) magasságáig emelkedik.

1596-ban egy arányossági körzöt talált fel, mellyel különböző számtani műveleteket tudott végezni.

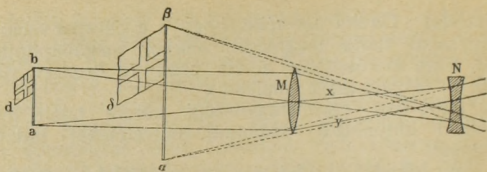
A hőmérő előfutárját is megtaláljuk Galilei egyik találmányában, az 1597 táján feltalált thermoszkópjában. Egy gömbbel ellátott üvegcsövet melegített fel kissé, azután alsó nyílt végét vízbe állította, mire a feltóduló víz magasságának változása mutatja a hőmérséklet emelkedését és csökkenését.

Galilei neve a távcsővel is összekötetésbe került, aminek magyarázata ez: Hollandiában találták fel először a távcsövet; némelyek szerint *Zacharias Janssen* 1590 körül, mások szerint *Frans Lippershey* a távcső feltalálója, mely utóbbi 1608-ban szabadalmat is kapott rá. Galilei ennek a távcsőnek a szerkezetéről tudomást szerzett és a leírás alapján ő maga állított össze 1609-ben egy távcsövet, melyet ugyan Galilei-féle távcsőként ismerünk (az objektív-lencse bikonvex, az okulár pedig bikonkáv; Galilei eredeti teleszkópjában egy síkdomború és egy sík-

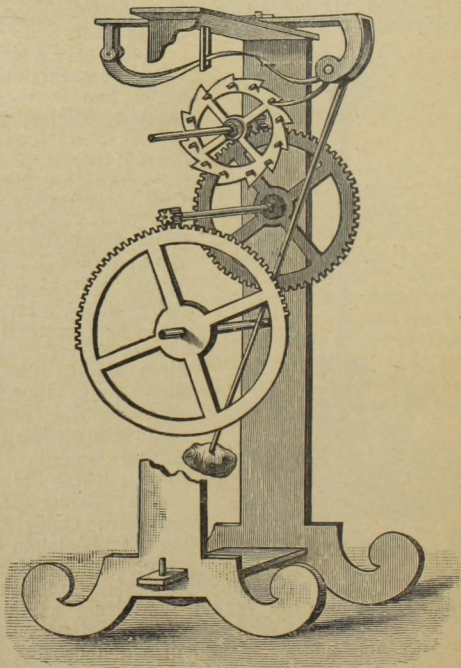


Galilei hőmérője.

homorú lencsét használt), feltalálására azonban ő maga sohasem tartott igényt. Főérdeme az, hogy ezt a távcsövet azonnal csillagászati megfigyelésekre használta fel, aminek rendkívül gyümölcsöző eredményei voltak: a Holdon felismerte a hegyek és völgyek váltakozását, a tejutban csillagcsoportokat fedezett fel, az Orionban 500-nál több, a Pléjádokban



A Galilei-féle távcső.



Galilei ingaórája,

29 új csillagot talált meg. Meglátta a Venus fényváltozásait, 1610. januárjában pedig felfedezte a Jupiter holdjait. Csillagászati felfedezéseiről ugyan csak 1610-ben *Nuncius sidereus* című munkájában számolt be. További felfedezései a Saturnus különös alakja (a gyűrűt még nem látta meg, de a bolygó két oldalán két kis csillagot vélt látni) és a napfoltok. 1611-ben kimondta a tételt, hogy a bolygóknak nincs saját fényük és hogy a Venus meg a Mars a Nap körül keringenek, végre pedig, hogy a Nap is saját tengelye körül forog. 1618-ban egy üstökös megjelenése alkalmával ezek elméletéről adott véleményyt (bár téveset; 1637-ben tette meg utolsó csillagászati felfedezését: a Hold librációját. Utolsó találmányának az ingaórát tekinthetjük (1641).

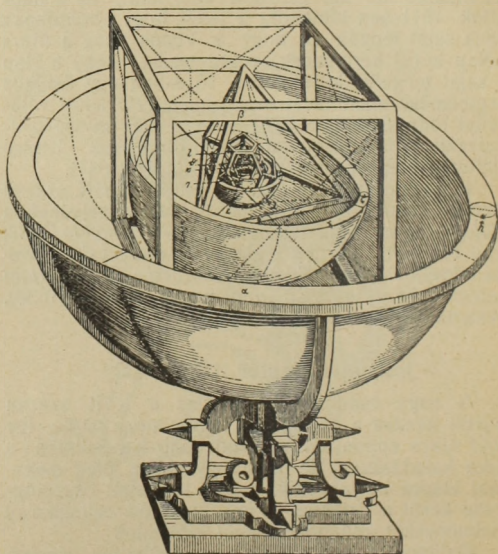
Két legfőbb műve (összes művei a XIX. század közepén rendezett kiadásban 16 kötetre terjednek) a *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) négy részben, melynek legkiválóbb része a Copernicus-féle elmélet fejtegetése és a *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), mechanikai főmunkája.

Johannes Kepler (1571—1630).

A nagy tudományos haladás a XVII. század elejétől kezdve a csillagászat terén megy végbe. Így tehát nincs éppen a legközvetlenebb kapcsolatban a fizika haladásával, de minthogy ekkor főleg mechanikai alapra helyezkedik, mégis közvetett összefüggésbe kerül a fizikával és így egyelőre a csillagászati eredményeket kell figyelemmel kísérnünk.

Galileivel párhuzamosan munkálkodik Kepler. Első munkájában (*Prodromus dissertationum cosmographicarum*, 1596) számbeli vonatkozásokat mutat ki a bolygóknak a Naptól való távolságai között. Az általa megállapított távolsági viszonyok ugyan csak nagyon tág korlátolt pontosság mellett felelnek meg a valóságnak, de azért a műnek mégis nagy jelentősége van, mert a Copernicus-féle világrendszer alapjára helyezkedik. Mint tudománytörténeti különösség megemlíthető, hogy Kepler a hat bolygó öt köze és az öt szabályos test között látja az összefüggést, melyet így fejt ki: „A Föld pályája szolgáltatja a kört, mely a többiek mértékét alkotja;

írj köréje dodekaédront: az ezt körülíró kör a Marsé; határold a Mars szferáját tetraedronnal, akkor az eköré írt kör a Jupiteré. Zárd körül ennek szferáját kockával, akkor az eköré írt kör a Saturnusé. Zárj a Föld szferájába egy ikozaédront, akkor az ebbe írt kör a Venusé. Zárj ebbe egy oktaédront,



Kepler bolygórendszere.

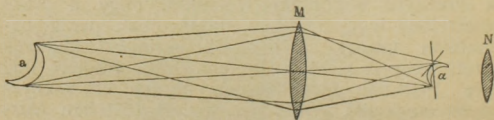
akkor a benne levő kör a Merkuré“. Geometriai szempontból azt a megjegyzést kell tennünk, hogy mindig az illető szabályos test körülírt vagy beírt gömbjének legnagyobb köre veendő egy-egy bolygó pályájának. Keplernek ez a műve 1600-ban érintkezésbe hozta őt *Tycho Brahe* (1546–1601) csillagással, ki ugyan nem rokonszenvezett a heliocentrikus rendszerrel („A Föld tunya, nehéz, mozgásra alkalmatlan tömeg; hogyan csinálhat belőle Copper-

nikus csillagot, melyet a lebegő égben körülvezetni akar?“) és saját rendszert alkotott, mely szerint a Föld a világ középpontja, körülötte kering a Hold és a Nap, viszont a Nap körül a Merkúr, Venus, Jupiter és Saturnus; a két csillagász egyévi együttműködése és Tycho Brahe megfigyelési adathalmaza azonban mérhetetlen haszonnal járt, mert főleg a Marsra vonatkozó megfigyelésekből nyert adatok szereztek meg Keplernek a lehetőséget arra, hogy nevezetes törvényeit később felfedezhesse; az adatokból ugyanis kitűnt, hogy a Mars pályája semmiképpen sem kör (lévén excentricitása 0.09326, a legnagyobb a Merkúr után). Erre Kepler úgy jutott, hogy Brahe összes geocentrikus adatait heliocentrikusokká számította át; így tűnt ki, hogy a Mars pályája ellipszis (eleinte ovális vonalnak gondolta), melynek egyik gyújtópontjában a Nap van. További adatok feldolgozása után megmutathatta azt, hogy az összes bolygók pályája a Nap körüli ellipszis. 1604-ben már befejezett, de csak 1609-ben kiadott *Astronomia nova seu physica coelestis* című művében kimondja két törvényét: 1. a bolygók ellipszisben mozognak, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll; 2. a radius vector által sűrolt terület arányos az idővel. A második törvényre abból következtetett, hogy a Mars napközben leggyorsabban, naptávolban pedig leglassabban mozog. A bolygók keringési idejének összefüggése is lázasan foglalkoztatta Keplert, míg végre 1618-ban fáradhatatlan munka eredményeképpen megkapta a törvényt, melyet 1619-ben *Harmonices mundi* öt könyvből álló második csillagászati főművében közreadhatott: két bolygó keringési idejének négyzetei úgy aránylanak, mint a Naptól való középtávolságuk köbei (a 3. Kepler-féle törvény).

Nagyon figyelemre méltó az a felfogás, melyet Kepler az égi testek vonzásáról nyilvánít: Galileivel szemben, ki csak a földi testek nehézségét vette tekintetbe, Kepler már egy általános nehézségi erőre következtet, mely az égi testek között fennáll; „ha a mi Földünk közelébe egy más, nagyobb Földet hoznánk, ez úgy vonzaná a mi Földünket, mint ahogyan ez vonzza a követ“: ebből azt lehet kiérezni, hogy még nem fedezte fel a kölcsönös vonzást, hanem azt teszi fel, hogy csak a nagyobb test vonzza a kisebbiket, a Föld és Hold között azonban

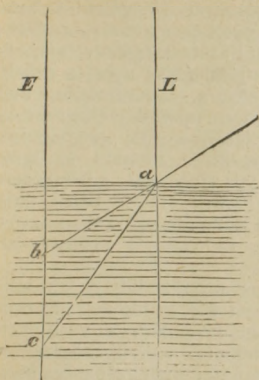
már eljutott a valósághoz, amikor így nyilatkozik: „A Hold vonzása nemcsak a vizekre hat, hanem a száraz földekre is és az egész Földre és fordítva a Föld is fejt ki mágneses erőt a Holdon levő testekre“ Így tehát Kepler, bár az égi testek vonzását még mágnesesnek vagy ahhoz nagyon hasonlónak tartja, tényleg előkészítette a gravitáció-elmélet kialakulását. Elmélete még csak annyiban hiányos, hogy a bolygók mozgásánál nem veszi tekintetbe a tétlenség elvét, melyet már Galilei megállapított, hanem felteszi, hogy a Napból kiinduló mágneses sugarak egyszersmind tovább is terelik a bolygókat pályájukon, mert ha nem volna ily „virtus movens“, a Hold a Földre, a többi bolygó pedig a Napba esnék.

Kepler két optikai művet is írt. *Paralipomena ad Vitellionem* című csillagászati optikai művében 1604-ben közreadja azt a tételt, hogy a fényintenzitás, a fényforrástól való egyenlő távolság mellett a megvilágított felület nagyságával és különböző távolságoknál a távolságok négyzetével fordítottan arányos. Mikor pedig Galilei teleszkópjáról értesült, a lencsék törvényeivel foglalkozott, meghatározta néhány



A Kepler-féle távcső.

lencse gyújtótávolságát, elkészítette egy, két és egy három konvex lencséből álló távcső tervezetét (melyek közül az elsőt nevezték el róla, habár ő maga ilyet sohasem állított össze) és levezette a fény teljes visszaverődését: ha a beesési szög a levegőben 0° -tól 90° -ig növekedik, a törési szög az üvegben 0° -tól 42° -ig növekszik; ha tehát az üvegből jövő fénysugár úgy találja a határfelületet, hogy a merőlegessel 42° -nál nagyobb szöget alkot, nem mehet át a levegőbe, hanem teljesen visszaverődik. Mindeme tanulmányait a *Dioptrica* című művében adta közre 1611-ben.



A fénytörés.

A fénytörés törvényét, noha a tűneményt behatóan tanulmányozta és már a goniometriai függvényeket is segítségül vette, még sem sikerült Keplernek felfedeznie. Végre Willebrord Snell (*Snellius*) van Royen (1591 — 1626) leydeni tanár vette észre, hogy a fénytörésnél az ac és ab aránya állandó szám, melynek nagysága azonban a közegek anyagától függ. Törvényét így fejezte ki: a beesési és törési szög cosecansainak viszonya állandó (1620). Minthogy Snell nem ismerhette Leo-

nardo da Vinci felfedezését, a törvényt joggal az ő nevéről nevezte el az utókor.

A természetfilozofia a XVII. század közepéig.

Az emberiség tudományos törekvéseiben sajátos jelenség az, hogy a természettudomány és a természetfilozofia között a kapcsolat nem volt olyan, minőnek reális, exakt természettudományi alapon álló követelések értelmében lennie kellett volna. Ha nem tagadjuk meg azt, hogy a természettudomány és a természetfilozofia, mint a természettudományok principiumainak tana között van különbség, a közöttük levő reláció tekintetében minden esetre az a felfogásunk, hogy az egyes *természettudományoknak* mint szaktudományoknak anyagot kell gyűjteniök, kutatásokat eszközölniök, tűnemények okát fűrkészniök, törvények megállapítására törekedniök és ha ily módon *indukció* segítségével *analitikai* módszerrel sikerült elegendő tudományos eredményt összegyűjteniök: csak akkor szabad a *természetfilozofiának*, feltétlenül a kriticismus álláspontján állva, tehát az emberi megismerés lehetséges voltát, eredetét, törvényszerűségét, milyen hatá-

rok között való érvényességét vizsgálva szisztematikus munkásságába belebocsátkozni, *deduktív* erejű törvények megállapítását megkísérelnie, de továbbra is, miután ily módon jogot nyert a *szintetikus* módszer alkalmazására, ellenőriznie kell, vajjon a szintetikus módon nyert következtetések megfelelnek-e a valóságnak? — ha megfelelnek, akkor tarthat számot az illető törvény az igazság értékére. E tudományos folyamat jellemzésére tehát elfogadhatjuk *Stuart Mill* (1806 – 1873) megállapítását, mely szerint a deduktív eljárásban három operáció megy végbe: az indukció, a szillogizmus és a verifikáció.

A görög tudományos eljárás hibája az volt, hogy nagyon csekély mérvű volt az indukció és mint főoperáció a szillogizmus szerepelt, a verifikáció pedig majdnem teljesen tekinteten kívül maradt.

A kereszténység első ezredében az összes szellemi energia a vallási folyamatokban emésztődött fell; később a dogmatikus álláspont nem szívesen látta a földi dolgok feszegetését; nem az isteni titkok fürkészésében, hanem inkább a megismerésről való lemondásban rejlett „a legigazibb Krisztus szerinti bölcsészet”. Az egész középkoron át, mint a theologia egyedüli forrása, a Biblia szerepelt, de csakis az egyházatyák magyarázata szerint, kik viszont a platonizmus alapján állottak és törekvésük oda irányult, hogy az emberiség a természetben az isteni működést lássa. *Petrus Abaelardus* (1079 – 1142) volt az első, ki vonakodott a tekintélyt és a kor uralkodó nézeteit szó nélkül elismerni. Törekvései ugyan nem értek célt, de a korszellem némi fogékonyságra tett szert új irány felé való hajlásra. Az új irány anyagát Aristoteles öröksége szolgáltatta. Mikor azonban Aristoteles, miután az egyház részéről veleszembben tanúsított ellenállás hiábavalónak bizonyult, „egyházképes” lett, az egyház nyomban a tekintély, a dogmatizmus súlyával nehezedett rá az antik tudásra és gondolkodásra, mely teljesen az egyház birtokába és tudományos vezetése alá került. Két századon át nem volt szabad Aristoteles állításaiban kételkedni. Cusanus volt itt az első ki a Föld forgását kimondta, és így szembe mert helyezkedni a megdönthetetlennek tekintett szkolasztikus tanítással.

Girolamo Cardano (1501 - 1576) a legkülönbözőbb hatások (pythagoreizmus, Aristoteles, neoplatonizmus, Cusanus) alatt állott, de minthogy Aristoteles nézeteit kritikailag vizsgálta, a szellemi haladás terén minden esetre érdemei vannak. Elemnek csak a levegőt, a vizet és a földet ismerte el, a meleget viszont a jelenségek formális és aktív okának tartotta szemben a nedvességgel, mely viszont a materiális, passzív ok; mindkettő szerinte „*principia generationis*“. Copernicust már nem követte: a geocentrikus világnézet híve maradt. A fizika terén is szerzett magának nevet: egy jelszóra beállítható zárt talált fel, tőle való a háromtengelyű felfüggesztési mód (pl. lámpák a hajókon), ő figyelmeztetett arra, hogy az érverést időmérésre lehet felhasználni, ő ismerte fel, hogy a testek égéséhez levegő szükséges, továbbá megfigyelte, hogy bizonyos körülmények között az emberi hajból elektromos szikrák csalhatók ki és ismerte a levegőtűkrözést meg az optikai csalódásokat.

Bernardino Telesio (1508—1588), a nápolyi „*Accademia Telisana*“ megalapítója, szintén állást foglalt az aristotelesi fizika ellen; dinamikainak mondható természetfilozófiáját a *tapasztalatra* alapítja, melyből a következtetésnek kell kiindulnia. A dolgok principiumainak a *meleget* és a *hideget*, mint anyagtalan alaperőket és az *anyagot* tartja; a melegben a mozgást, a hidegben a nyugvást látja; az anyag a passzív, tétlenül ellenálló szubstancia, melyet a meleg kiterjeszt és ritkít, a hideg pedig összehúz és sűrít, mely azonban minden változásban *mennyiségét megtartja*; a tér anyagtalan, hatástalan, csupán felvételi képességet tanúsít: „a dolgok receptora“; az idő a mozgás mértéke.

Francesco Patrizzi (1529—1597) a legszenvedélyesebb, szinte már durva módon támadta Aristotelist, de nagyban járult hozzá a szkolasztika tekintélyének megdöntéséhez. Nagyjában Telesio természetfilozófiájából indul ki, ebből azonban misztikus emanációelméletet fejt ki, melynek principiuma a *fény*: ez isten jelképe, ez bevilágítja a tért, előmlik minden-hová, megtart, alakít és éleszt mindent és maga megmarad egynek és változatlannak; a testek a világtért betöltő folyadék sűrűsödései, melyeket a meleg éleszt.

Giordano Bruno (1548—1600), bár munkássága nem terjed ki a fizikára és matematikai tudása sem volt, mégis korának természettudományi haladásában nagy jelentőségre tett szert azzal, hogy nagy lelkesedéssel terjesztette Copernicus heliocentrikus világfelfogását. Az anyag szerinte nem tétlen, nem élettelen, nem ellentéte a formának és az erőtlől nem különböző, hanem belőle fejlődnek ki és benne működnek a formák; a mindenség élő lény; a dolgok az egy szubsztancia módosulásai, megjelenési módjai és csak az egyes dolgok múlóak és változók; a dolgok továbbá elemekből (monádok) állanak, melyek fizikai erőcentrumok és egyszersmind érzésre is képesek (hylozoismus). A mindenség tér és idő tekintetében végtelen, egy és mozdulatlan, a Naprendszer azonban csak számtalan sok világ egyike.

Lucilio Vanini (1585—1619) szerint is a világ örökkévaló, az egységes anyag pedig mennyiségére nézve állandó és csak formái változnak; a természet saját erői által mozog.

Tommaso Campanella (1568—1639) szintén az ellen szól, hogy a természet tanulmányozását Aristoteles irataiban eszközöljük és azt követeli, hogy közvetlenül fürkésszük a természetet, mert minden (világi) ismeret az észrevevésen és tapasztalaton nyugszik. A legszélsőbb hylozoista: szerinte még a tért is lélek tölti be, mert irtózik az ürességtől és betöltést kíván. Csillagászati felfogása, hogy a bolygók a Nap körül keringenek, ez viszont a Föld körül. A tűz és a föld a két változatlan elem; az összes jelenségeket a világ részeinek kölcsönös hatása határozza meg. Az oktatásra nagy súlyt helyez és azt kívánná, hogy benne a matematika a természettudományok és a szemlélet érvényesüljenek.

Mellékes vagy legalább másodrendű kérdés az, hogy e filozófusok közül egyesek nem fogadták el az új világregszereket és így ebben a tekintetben még bizonyos maradiságot képviseltek, de mérlegelni kell azt a körülményt, hogy ezek éppen a legújabb tanok voltak, melyeket minden időben némi kételkedés fogad, másrészt meg elfogadásukhoz és megértésükhöz sokkal nagyobb matematikai tudás és fizikai érzék volt szükséges, mint amennyivel e filozófusok rendelkeztek. Érdemük az, hogy a természettudományokkal rokonszenveztek, azok

kulturális jelentőségét felismerték és számukra módszereket állapítottak meg.

Ugyanilyen megítélés alá esik a nagy angol természetfilozófus, *Francis Bacon* (1561—1626) is, kinek érdemeit semmiképpen sem kisebbíti az a körülmény, hogy az általa hirdetett természettudományi elveket gyakorlatba nem követte; nem követ-hette — hiszen filozófus volt és nem természet-vizsgáló, ki korának természettudományát teljes szaktudással ismerte és feldolgozhatta volna: filozófus volt, ki azonban a tapasztalatok, a megfigyelő és kísérletező természetvizsgálást öntudatosan principiummá választotta és filozófiai útmutatásával mérhetetlenül hasznos szolgálatokat tett a természettudományoknak.

„A tudomány — így jellemzi nagyon találóan *Albert Schweigler* (1819—1857) Bacon bölcséletének főbb tételeit — idáig igen siralmas állapotban volt. A bölcsélet üres, terméketlen szórágásba merülve, hosszú századokon át egyetlen művet vagy kísérletet sem létesített, mely az emberi életnek igazi hasznot hozott volna. Az eddigi logika inkább a tévedések megszüldítésére, semmint az igazság kutatására szolgált. Honnan van mindez? Honnan származik a tudomány eddigi nyomorúsága? Onnan, hogy elszakadt saját gyökerétől, a természettől és a tapasztalástól. Ennek az állapotnak több oka van: először a régi, meggyökeresedett elfogultság, hogy az emberi szellem méltóságán csorba esnék, ha kísérletekkel és anyagi dolgokkal sokat és kitartóan foglalkoznék; továbbá a babona és az elvakult vallási túlbuzgóság, amely kezdettől fogva kibékíthetetlen ellensége a természetbölcsületnek; azután a rómaiaknál az erkölcstannal és a politikával való kizárólagos foglalkozás és a theologia, mely a keresztény korszakokban egyedül foglalkoztatja a kiválóbb elméket; továbbá az a nagy tekintély, melyben bizonyos filozófusok állottak és az ókor tisztelete; végül bizonyos bátortalanság és kételkedés ama sok és nagy nehézség legyőzésének a lehetőségében, melyek a természet kutatásának útjában állanak. Mindezek az okok közösen hozták létre, a tudomány sülyedését. A tudománynak alapjában való teljes megújításáról, újjászületéséről és reformálásáról (*instauratio magna*) van tehát szó:

arra van szükség, hogy találjunk új alapot a tudás, új principiumokat a tudomány számára. A tudománynak ilyen ujjaalakítása, alapos kigyógyítása pedig két feltételtől függ: az objektív feltétel a tudomány visszavezetése a tapasztalásra és a természetbölcseletre; szubjektív feltétele pedig a szellem megtisztítása minden elvont elmélettől és hagyományos elfogultságtól. Mindkét feltétel együtt megadja a természettudomány helyes módszerét, mely nem lehet más, mint az indukció. Az igazi indukciótól függ a tudomány minden sikere.* Így tehát Bacon, minthogy minden megismerés alapjává a tapasztalást és az indukciót teszi, az újabb empirizmus megalapítója. A tudomány értékét abban látja, hogy hatalmat ad az emberiség kezébe a természet fölött (tantum possumus, quantum scimus).

Bacon nyomdokain halad *Thomas Hobbes* (1588—1679), ki azonban azzal szemben nagy fontosságot tulajdonít a matematikának és az exakt tudományoknak, miáltal filozófiájában, melyben mindenkor a jelenségek szigorú törvényszerűségét hangsúlyozza, a naturalizmus, a mechanizmus, sőt a materializmus fejeződik ki. A filozófia Hobbes szerint a hatásoknak az okokból és az okoknak a hatásokból való fürkészése és célja az, hogy az előrelátható hatásokat hasznukra fordítsuk.

René Descartes (1596—1650) a legnagyobb fokú óvatosságot követeli a filozófia módszerében; a módszeres kételyt (doute méthodique) állítja oda mint főkövetelményt és csak ennek legyőzése után engedi meg az adott dolgok bölcészeti vizsgálatát. Így lesz a filozófiai szkepticizmus képviselője. Miután mindent kétségbe lehet vonni, ami nem tökéletesen bizonyos — és tulajdonképpen semmi sem az — valamely feltétlenül kétségbevonhatatlan tényt kell keresnie és ezt abban találja, hogy a kételkedő én, minthogy kételkedik, teljesen bizonyos, bizonyosabb, mint a külső világ minden léte; ennek alapján mondja ki híres mondatát: „Cogito, ergo sum.” Módszerében négy alapszabályt állapít meg: 1. ne tartsunk semmit sem igaznak, ami nem mutatkozik evidensen biztosnak; 2. bontsunk szét minden kérdést, minden nehézséget részekre (analízis); 3. vizsgálódásainkban haladjunk bizonyos sorrendben: az egyszerűtől az összetett felé (szintézis); 4. biztosítsuk

magunknak a vizsgálat tökéletességét. Ily módon fegyverzi fel a szkepticizmus módszerével racionalizmus filozófiai irányát, melynek ő a megalapítója. Baconnal ellentétben a deduktív módszerben látja a filozófia erejét és e tekintetben eszményi tudomány-nak a matematikát látja; a matematikai-logikai alapelvek abszolút érvényűek, a matematikai megismerések tiszták és világosak és ennél fogva bizonyosak; a testek világának megismerésére is a geometria alapvető, mert az érzékekből eredő összes kvalitatív tulajdonságok (szín, hang, stb.) csak szubjektívek, míg a kiterjedés, nagyság, alak, mozgás a testek sajátos tulajdonságai. Szubsztanciának kettőt ismer: az észet és a testet (*mens, corpus*), amelyek közötti különbséget tisztának, világosnak, evidensnek és ennél fogva reálisnak látja: filozófiájában tehát a dualizmus alapjára helyezkedik.

Pierre Gassendi (1592—1655), ki Descartes szkepticizmusával szembehelyezkedett, az epikurosi filozófiát felelevenítve az újabb fizikai-mechanikai világnézet és ezzel a materializmus alapját vetette meg. Már Bacon emelte ki Demokritos nagy jelentőségét és Gassendi is ennek atomelméletéből indul ki. A testek, miután a szakadatlan feloszlásnak végre is valami feloszthatatlanhoz kell vezetnie, atomokból állanak, melyek nagyságukra, alakjukra és súlyukra nézve egymástól különböznek. Az atomok száma meghatározhatatlanul nagy, de nem végtelen. Az atomokon kívül van azonban abszolút üres tér is és minden atomnak megteremtése óta megvan a mozgáshoz való elveszíthetetlen ösztöke (*impetus*), melyet a nyugalom is csak időlegesen leköt. A testek esését a Föld vonzásából magyarázza és arra következtet, hogy e vonzás nem lehet „*actio in distans*”, hanem kell, hogy valami láthatatlan nyúljon a Földből az eső kő felé. Egyébképpen Galilei tanait feltétlenül elfogadja és lelkében a Copernicus-féle világnézet hívője; pap létére azonban nem csatlakozhatott nyíltan e tanhoz, hanem arra szorítkozott, hogy az ellene felhozott érveket lehetőleg gyengítse.

Blaise Pascal (1623—1662) szerint a matematikai a legpontosabb és végre is hajtható módszer, mely mindent megmagyaráz a meg nem magyarázható, de mégis legtisztább fogalmakig, mint amilyen a tér, idő, mozgás és mindent bebizonyít a be nem

bizonyítható, de mégis legtisztább alapelvekig. A matematikát természetesen nem terjesztheti ki korlátlanul mindenre és elismeri határait.

A természetfilozófusok szellemi munkássága nagy hatással volt a természettudományok fejlődésére, mert közülük egyesek konkrét tünetmények tanulmányozában is fejtettek ki működést, de mindannyian hozzájárultak ahhoz, hogy a természetvizsgálás egyik legfőbb és legszükségesebb alapelvét, a kauzalitás (okszerűség) törvényét kialakították. Így tehát irányt szabtak a nem filozófiai tanulmányokba merülő természetkutatóknak is, hogy a változások okát keressék vagy legalább is az egymással oksági viszonyban levő változások kapcsolatát megállapítsák. Lassankint tünedeztek a misztikus hiedelmek, a babonás oktondiságok, a fantasztikus kiszínezések és a tudományosan működő kutatókat az elfogulatlan, objektív, józan megfigyelésről és a racionális okfűzésről való meggyőződés kezdte vezetni. A filozófiának egy másik nevelő hatása is volt: egyes művelői arra terelték a figyelmet, hogy a természeti törvények matematikai kifejezést nyerhetnek, sőt követelnek is kifogástalan érvényességük megszerzésére. Így módszerré vált az arra alkalmas tünetmények tanulmányozásánál az az eljárás, hogy a tünetményt matematikailag analizálták, fázisait matematikai operációkkal párhuzamban követték, ami esetenként arra vezetett, hogy bizonyos matematikai megfontolások alapján a megfelelő fizikai tünetményeket fedezték fel.

A kísérleti tevékenység eredményei a XVII. században.

Galilei sokoldalú munkássága másokat is ösztökélt kísérleti kutatásokra és fizikai elvek megállapítására. Főleg a tétlenség elve mutatkozott csábítónak arra, hogy kritikailag vizsgálják és teljesen kidolgozzák. A genovai *Baliani* (1583–1666) is mint minden test sajátos tulajdonságát fogta fel a tétlenséget (1638); arra törekedett, hogy az esés törvényeit ebből a törvényből levezesse, ami azonban nem sikerült neki, mindazonáltal azt vélte, hogy Galilei mozgási törvényei csak megközelítőleg érvé-

nyesek; szereplésének nagy jelentősége azért nincsen, mert tulajdonképpen csakis a Galilei-féle gondolatokkal élt, mikor a testeknek nyugalomban és mozgásban való megmaradásuknak törekvését fejezte ki. Hasznos munkát végzett *Gassendi* 1649-ben, mikor a marseillei kikötőben gyors járásu gálya árbóc kosarából kiejtett kövek esését figyelte meg; minthogy a kövek az árboccal párhuzamosan estek le, a tétlenségi törvényt igazoltnak látta és arra a jelenségre is figyelmeztetett, hogy a gyorsan száguldó lovas az egyenesen felfelé dobott testet éppen úgy fogja fel ismét, mintha vesztég maradt volna; ezek alapján tehát feljogosítva érezte magát annak a kifejtésére, hogy a Föld forgása közben mozgását minden rajta levő testtel közli. *Descartes* is a tétlenségi elvet fejezi általánosabban három fizikai törvényének kettejében; az első maga a tétlenségi törvény, a második szerint pedig: a magára hagyott mozgó test egyenes pályán mozog tovább (a harmadik törvény az ütközésről szól); a világ kialakulását is a tétlenségi törvényből vezette le (1633, megjelent 1644-ben).

Galileivel baráti viszonyban állottak *Benedetto Castelli* (1577–1644) benedekrendi szerzetes és *Evangelista Torricelli* (1608–1647), mindkettő Galilei tanítványa, akik azonos kérdéseket is tanulmányoztak. Az előbbi 1628-ban közzétett hidrodinamikai munkájában azt a tételt mondta ki, hogy folyadékok állandó áramlásánál a sebesség fordítottan arányos a keresztmetszettel, de még mindig azt a téves tételt hirdette, hogy valamely edényből kifolyó folyadék kifolyási sebessége a folyadékoszlop magasságával arányos, (tehát lényegben a *Frontinus*-féle tételt). *Torricelli* kimutatta, hogy a folyadék kiömlésére ugyanazok a törvények érvényesek, mint a szabad esésnél és így a kifolyási sebesség a folyadékoszlop magasságának négyzetgyökével arányos.

Torricelli a vízsugár alakját parabolának ismerte fel, melyet azonban – épp úgy, mint a hajított test paraboláját – a levegő ellenállása nagy mértékben megváltoztat. A levegő ellenállását látta abban a körülményben is, hogy a szökőkút sugara nem éri el a víztartóban levő víz színének magasságát. De az a gondolat is mindinkább megerősödött benne, hogy a nyugvó levegő is, a folyadékokra nyomást

fejt ki. Ezt a gondolatát *Vincenzio Viviani* (1622—1703) barátjával közölte és a megejtendő kísérletekhez víz helyett a higanyt ajánlotta. *Viviani* elvégezte a kísérletet: egy 2 röfnyi (112 cm) hosszú üvegcsövet megtöltött higanynyal, a cső szabad végét befogta ujjával, a csövet fordítva higanyba állította és ujját elhúzta; a higany a csőben leszállott $1\frac{1}{3}$ röf (746 mm) magasságra. *Viviani* közölte a kísérletet *Torricellivel*, ki azt többszörösen ismételte (1643). A kísérletet *Torricelliről* nevezik el, mert tőle származott a gondolat és ő tett még további megfigyeléseket. *Torricelli* ugyanis észrevette, hogy az ily módon összeállított készülékben a higanyoszlop magassága változik. Ez teljesen megerősítette őt abban, hogy a légnyomás a jelenség igazi oka és végképpen lemondott arról, hogy a „horror vacui” magyarázatát belevonja kutatásainak rendszerébe. Azt is észrevette, hogy nem a higanyoszlopnak hossza, hanem csakis a magassága mértékadó a légnyomás meghatározásánál, mert ha a csövet ferdén tartotta, a higany felszíne a csőben állandó magasságban maradt. *Torricelli* kísérletéről *Pascal* is tudomást szerzett 1646-ban, de a magyarázatát nem tudta meg és így ő is a „határolt horror vacui” szerepét látta a jelenségben, 1647-ben azonban megismerte *Torricelli* magyarázatát, melyet azonnal elfogadott és további megerősítésére új kísérleteket tett. Arra gondolt ugyanis, hogy a légnyomásnak nagyobb magasságban kisebbnek kell lennie és minthogy nem lakott hegyes vidéken, *Périer* nevű sógorához fordult, aki 1648. szept. 19-én ily *Torricelli*-féle készülékkel felment a 974 m. magas *Puy-de-Dôme* csúcsára; a higanyoszlop magassága 3 hüvelykkel (8 cm) kisebb volt, mint a hegy lábánál fekvő *minoritakolostornál* felállított másik készüléken. Így származott tehát a fizikának egyik legfontosabb mérőeszköze: a légsúlymérő. *Pascal* 1653-ban megjelent egyik művében összefoglalta a légnyomáson alapuló összes jelenségeket. Érdekes adat, hogy *Descartes* már 1631 körül a légnyomás alapján magyarázta meg azt a jelenséget, hogy a víz csak bizonyos magasságig emelkedik a szívó kútban és hogy a higany nem esik ki egy felülzárt, szűk üvegcsőből; minthogy azonban inkább filozófiai gondolatok foglalkoztatták, a légnyomás kísérleti tanulmányozását elejtette.

Akusztikával Galilei behatóbban nem foglalkozott, csak azt jelezte, hogy a hang magassága csupán rezgéseinek számától függ. A gondolatot azonban felfogta *Marin Mersenne* (1588 – 1648) minora szerzetes, kísérleteket tett és a következő eredményekre jutott: a húr rezgéseinek száma különben egyenlő körülmények között 1. a hosszával fordítottan, 2. a feszítő súly négyzetgyökével egyenesen, 3. a vastagság négyzetgyökével fordítottan arányos (ez utóbbi megállapítás hibás; helyesen: a vastagsággal fordítottan arányos). Azt is észrevette, hogy a húr hangja nedves levegőben magasabb lesz és ennek alapján akusztikai higroszkopot készített. Említésre méltó az a törekvése, hogy a zenében egy bizonyos normálhangot állapítsanak meg; eszméjét azonban nem támogatták. Egy számbeli adatot is szerzett: a Bacon által ajánlott módszert követve ágyú elsütésével határozta meg a hang terjedési sebességét, melyet 1380 párisi lábnak talált (448 m). Még rosszabb adatot nyert Gassendi 1473 lábban (478 m), de viszont kísérletéből azt a tanulságot merítette, hogy a különböző magasságú hang egyenlő sebességgel terjed (a szkolasztikusok azt tartották, hogy a mélyebb hang lassabban terjed), mert kísérleteinél az ágyú és a puska hangját használta fel. Mersenne végre volt az első, aki a felhangokat észlelte, azonban azt hitte, hogy csakis kettő ilyen van és nem foglalkozott többé behatóbban e jelenséggel.

Bonaventura Cavalieri (1598–1647), szintén Galilei tanítványa, a ferdén felfelé hajított testek pályáját tanulmányozta és szintén parabolában állapította meg, 1647-ben pedig *Exercitationes geometricae* című művében az üveglencsék gyújtótávolságát határozta meg eképpen: „Minden kétszer domború és kétszer homorú lencsében a határfelületek sugarainak összege úgy aránylik a párhuzamos sugarakat felvevő határfelület sugarához, mint a másik felület kétszeres sugara a párhuzamos sugarak találkozási távolságához. Összeg helyett különbség veendő, ha az egyik felület domború, a másik pedig homorú.” A törvény képletben kifejezve ez:

$$\frac{r_1 \pm r_2}{r_1} = \frac{2 r_2}{f}$$

és ebből az ismert:

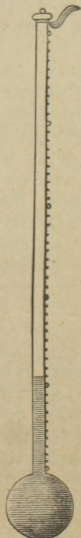
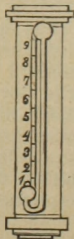
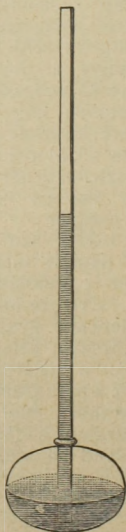
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_2} \pm \frac{1}{r_1} \right)$$

képletből levezethető, ha $n = 1.5$ speciális törésmutatójú üveget veszünk fel. Különböző törésmutatókat tehát Cavalieri még nem vont bele megfigyeléseibe és számításaiba, noha ekkor már Descartes kifejezte a Snell-féle törvényt a manapság is használatos alakjában (1637) :

$$\frac{\sin \varepsilon}{\sin \beta} = n.$$

Az *Accademia del Cimento* működése. II. Ferdinand (1610–1670) toscanai nagyherceg és öccse Leopoldo de' Medici (1617–1675) védnöksége alatt ennek firenzei palotájában 1657. június 19-én az „Accademia del Cimento” (a kísérletezés akadémiaja)“

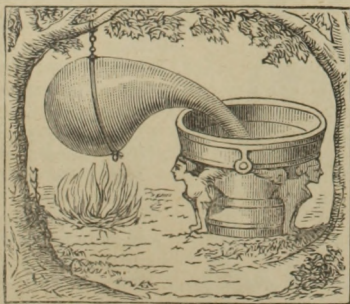
című társaságot alakították, melynek csak kilenc tagja volt, céljául pedig a fizikának szorgos kísérletezés útján való tanulmányozását és a Galilei által adott óriási mennyiségű természettudományi anyag feldolgozását tűzte ki. A társaság teljesen a korszellem magasla-



Kircher hőmérője. Santorio hőmérője. A firenzei hőmérő.

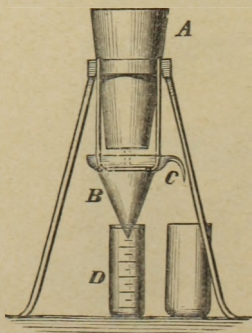
tán állott és rendkívül élénk tevékenységet fejtett ki. „Provando e riprovando (kísérletezni és újra kísérletezni)” volt a jelszavuk, amelynek követésében nyert gazdag és értékes eredményekről tíz évi működés után a *Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento* című emlékiratban adtak számot. Az eredményeket névaláírás nélkül közölték, de azért megállapítható az egyes tudósok működési köre. A mű 13 fejezete alapján sikerül is az Accademia működéséről szemléletes képet adni

I A hőmérő, a higrometer és az inga leírása. Az Accademia mindenekelőtt Galilei termoszkópjából indult ki és a termométerhez jutott. Mielőtt azonban az Accademia foglalkozott a hőmérővel, már Santorio (1560 – 1636) készített oly készüléket, melyen a téli és a nyári közti hőmérséklet különbséget különböző számú részre osztotta. Athanasius Kircher (1601 – 1680) jezsuita tudós 1643-ban folyadékkal félig megföltött üvegedénybe forrasztott egy üvegcsövet, melyben a folyadék az edénybe zárt levegő térfogati változása következtében mozgott; folyadéku víz, bor vagy higany szolgált. Rey († 1645) francia orvos azon a nehézségen, melyet a Kircher-féle készüléken a csőnek az alsó edénybe való légmentes beforrasztása okozott, úgy segített, hogy az edényt és a csövet egy darabban használta, a hőokozta kiterjedést mutató anyagul pedig nem többé levegőt, hanem folyadékot használt. Az ú. n.



Drebbel kísérlete.

firenzei hőmérőt állítólag maga a nagyherceg készítette, melynek teljesen tetszőleges skála-beosztását az üvegesőhöz forrasztott fekete és fehér zománcgyöngyök alkották. Az Accademia célja az volt, hogy a téli hideg és a nyári meleg közötti különbséget határozott számú részre felosztás, de nem jutottak megállapodásra: 400,80 meg 40 részt ajánlottak. *Honoré Fabri* (1606—1688) jezsuita, az Accademia levelező tagja eközben új gondolatot vetett fel: először két állandó hőmérséklet pontjait kellene nyerni és csak azután az e pontok közötti távolság felosztására gondolni. Fabri gondolatát rögtön felkapták és kerestek ily állandó hőmérsékleteket; eredményük azonban nem volt éppen nagyon kielégítő: a nyári meleg helyett az állati szervezet hőmérsékletét választották, a téli hideg helyett pedig a hó hőmérsékletét a legnagyobb (!) hidegben használták és senkisé is gondolt a jégolvadás állandó hőmérsékletére, melyet pedig ismertek és mely skálájuk részeiben $13\frac{1}{2}$ -et mutatott. Az ügy tisztázása céljából meg kell említeni azt, hogy a hőmérő feltalálója sem a hollandi *Cornelius Drebbel* (1572—1634), sem az angol *Robert Fludd* (1574—1637) nem volt, mint ahogyan azt a XVII század vége felé hinni kezdték, minthogy az előbbinek 1604-ben végzett kísérlete inkább csak azt mutatta meg, hogy a levegő megmelegítve kiterjed, a Fludd által 1617-



Az első kondenzációs higrometer.

ben leírt készülék pedig nem volt egyéb, mint a Galilei-féle légtermoszkóp, melyet saját állítása szerint régi kéziratból ismert. Mindazonáltal azonban a firenzeivel szemben a „belga” vagy „Drebbel-féle” hőmérő elnevezése sokáig maradt még fenn.

Cusanus higroszkópja nagyon kevésbé felelt meg fizikai mérési céloknak, *Folli da Poppi* készüléke (1664) is nagyon kezdetleges volt,

mely abban állott, hogy egy súly által kifeszített papírszalag hosszúsági változása mutatta a levegő nedves-ségének változását; az Accademia a papírszalag helyett pergamentszalagot használt, amivel természetesen nagy eredményt nem ért el. Azonban nagy haladást jelentett az első kondenzációs higrometer, melyet szintén II. Ferdinandnak tulajdonítanak. A jéggel megtöltött *A* edényből kiolvadó víz az alatta levő kúpalakú *B* üvegedényt tölti meg, esetleg a *C* csövön át kifolyik; így tehát ennek a mennyisége, valamint a *B* edény külső falán lecsapódó és a *D* edényben összegyülemelő víz mennyisége is meghatározható; a két vízmennyiség közötti arány mértéket adott a levegő páratartalmára vonatkozólag. A készülékkel főleg a különböző irányú szelek nedvességét figyelték meg.

Az inga tanulmányozása körül az Accademia nem tudott Galileivel szemben újabb haladást felmutatni.

II. *A levegő nyomására vonatkozó kísérletek.* Az Accademia tagjai számos kísérletet eszközöltek a barometerrel és főleg Pascal kísérletét ismételték gyakrabban és így teljes meggyőződést szereztek maguknak arról, hogy a légnyomás magasabb helyeken kisebb. A barometert a közlekedő edények alapján magyarázták (levegő és higany, mint folyadékok). Kísérleteik legnagyobb számát azonban a „Torricelli-féle ür” tanulmányozására végezték, melyeknél a cső felső végén nagyobb edényt használtak egyes tárgyak elhelyezésére. Megfigyelték, hogy egy levegővel telt hólyag a légüres térben kiterjed, figyelmük azonban teljes módszerességgel minden kérdésre kiterjedt, noha a legtöbbször csak negatív megoldást nyertek; így megállapíthatták azt, hogy a folyadékcseppek gömbalakja, a folyadékok kapilláris emelkedése, a mágneses hatások és a lencséknél a képek semmiféle változást nem mutatnak a vakuumban; még a hangra és elektromosságra vonatkozó kísérletekkel is megpróbálkoztak, melyek azonban eredménytelenek maradtak.

III. *A víz mesterséges fagyasztásáról.* Alul zárt fémcsővet megtöltöttek vízzel és fagyasztó keverékekkel megfagyasztották a vizet; a nagyobb térfogatu jégnek a csőből kitolódott részét levágták és megmérték; ennek súlyát az eredeti vízmennyiség

$\frac{1}{9}$ részének találták és így a jég fajsúlyát $\frac{8}{9}$ -ben állapították meg (0.8888; valódi értéke: 0.9167). A víznek a fagyás alkalmával kifejtett nagy erejét is demonstrálták: vízzel telt és csavarokkal lezárt fémedények a víz mesterséges fagyasztásánál felrepedtek vagy legalább is hasadásokat mutattak.

IV. *A természetes fagyásról.* Nagyon érdekes az e fejezetben utolsónak leírt kísérlet: egy homoru tükör elé egy 500 fontnyi jégtömeget helyeztek el, a tükör gyújtópontjába pedig hőmérőt tettek; a hőmérő folyadékszála azonnal süllyedt, viszont nem süllyedt, ha a tükör és a hőmérő közé ernyőt tartottak; így kimutatták, hogy nem a jégtömeg közelsége miatt süllyed a hőmérő.

V. *Néhány kísérlet a hőmérsékletnek az olvadáspont körül való állandóságára vonatkozólag, továbbá az edények térfogatnövekedéséről hirtelen melegezkor.*

VI. *A víz összenyomhatóságára vonatkozó kísérletek.* Vízzel telt és csavarokkal lezárt ezüstgolyók kalapálásánál a víz a golyó likacsain át kihatolt, amiből azt a következtetést vonták le, hogy a víz összenyomhatatlan.

VII. *Az abszolút könnyűség képtelenségéről.* Kimutatták azt, hogy a folyadéknál könnyebb test csak akkor úszik a folyadékon, ha a folyadék alája férhet és így a felhajtó erejét kifejtheti. E célra egy henger alakú faedény teljesen simára csiszolt alaplapjára szintén lecsiszolt alapu fahengert állítottak, melyet óvatosan higanynyal körülöntöttek: a fahenger nem emelkedett fel a higanyban. Továbbá egy sima elefántcsontgolyót egy félgömb alakulag kívájt elefántcsontcsészébe tettek és e két testet higanyba merítették: itt sem emelkedett fel a golyó.

VIII. *Kísérletek a mágnességről.* Ezen a téren keveset értek el, mint ahogyan a mágnesség általában nem nagy haladást mutat fel abban a korszakban. Az Accademia sem volt képes többet nyújtani, mint amennyit a XVII. század első felében tudtak. Gilbert óta talán csak Niccolò Cabeo (1585–1650) jezsuita végzett ismét mágnességi kísérleteket a mágnesek hordóképeségére vonatkozólag (1639); Kircher pedig e tekintetben azt ajánlotta, hogy a mágnes erejét azzal a súlylyal kell kifejezni, mely a mágnesnek egy vasdarabról való leszakítására szükséges. —

A deklinációra vonatkozólag pedig *Henry Gellibrand* (1597—1637) csillagász 1634-ben kimutatta, hogy ez, nemcsak hogy nem egyenlő mindenhol, de még ugyanazon a helyen is változik és így nem szolgálhat a földrajzi hosszúság meghatározására.

IX. Az *elektromosságról*. E téren is keveset végeztek; csak az elektromos taszítást, a csillogást és a szikrát ismerték.

X. *Savak és lugok hatása növénynedvekre.*

XI. *Kísérletek a hang terjedésére vonatkozólag.* A hang sebességét épp oly módon határozták meg, mint Gassendi és Mersenne, de azokénál már sokkal jobb értéket kaptak: 1111 lábat másodpercenként (360 m).

XII. *A hajított és a szabadon eső testekről.*

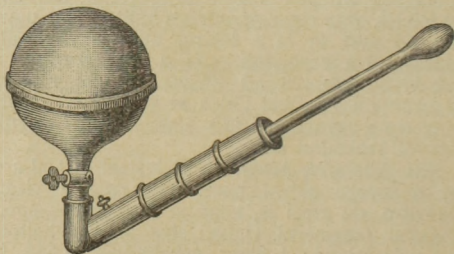
Nagyon érdekes kísérlettel igazolták Galileinek azt a tételét, hogy egy vízszintesen hajított test ugyanannyi idő alatt ér le a földre, mint ugyanarról a magasságról a szabadon eső: a régi livornoi vár egyik 50 braccio (28 m) magas, a tenger partján álló toronyról golyókat lőttek ki vízszintes irányban a tengerbe; ugyanannyi idő alatt estek a golyók a toronyról szabadon is.

XIII. *Különféle kísérletek.* E fejezet hirt ad arról, hogy a levegő súlyát határozták meg a vízéhez viszonyítva, de arról is, hogy a fény sebességét is iparkodtak megmérni. Galilei elve szerint hajtották végre a kísérletet: 1 olasz mértföldnyi (1653 km) távolságban két megfigyelő foglalt állást, mindegyik erős fényforrással ellátva. Az egyik megfigyelő eltakarta a fényforrást, mire a másik, mikor ezt észrevette, szintén eltakarta a magáét; az első pedig megfigyelte azt az időt, mely a saját fényforrásának eltakarása között és a másik fényforrás eltakarásának észrevevése között elmulott: ennyi idő alatt tette volna meg, tehát a fény a 2 mfld-nyi távolságot; a fény óriási sebessége miatt természetesen semmi féle eredményt sem értek el a megfigyelők.

Az Accademia tagjai közül Vivianin kívül még *Giovanni Alfonso Borelli* (1608—1679) vált ki önálló munkássága alapján is. A heliosztat feltalálója; a Jupiter holdjairól írva az égi testek közötti vonzást vette magyarázatai alapjául, az üstökösök pályáit tanulmányozta és önálló égi testeknek mondta őket; legnevezetesebb tanulmányai azonban a hajcsövesség

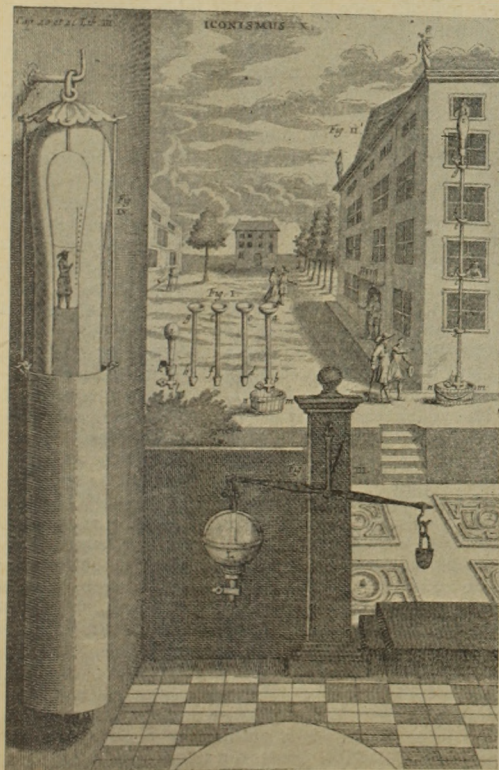
körébe tartoztak (1670): kimondta a hajcsövességnek azt a tételét, hogy a folyadék emelkedése a cső átmérőjével fordított arányban áll; végre pedig sokat foglalkozott az élő emberi test mechanikájával.

A kísérletezési módszer Olaszországon kívül is talált képviselőjére; elsősorban *Otto von Guericke* (1602—1686) ért el e téren nagy horderejű eredményeket. Eleinte filozófiailag feszegette az üres tér kérdését, nemsokára azonban arra a meggyőződésre jutott, melynek később főművének előszavában adott kifejezést, hogy „természettudományi kérdéseknél nincs annak semmi értéke, ha szépen beszélünk és ól vitatkozunk” és közvetlenül a kísérletezés felé



Guericke légritkitott gömbje.

fordult; mindenekelőtt meg akarta vizsgálni, vajjon nem lehetne-e légüres teret előállítani? E célra egyszerű vízszivattyúval egy hordóból kiszivattyúzta a vizet; a kísérlet természetesen nem felelt meg várákozásának, mert a levegő a hordó közein behatolt; erre a hordót vízbe helyezte és így szivattyúzta ki belőle a vizet, de ekkor meg a víz tódult be a hordóba. Ezek után egy rézgolyóból szivatta ki a vizet, de a külső légnyomás nagy durranással összenyomta a golyót. Erre vastagfalú fémgolyókat vett és egyzersmind azt a változtatást is eszközölte, hogy nem is használt vizet, hanem közvetlenül a levegőt szivatta ki; minthogy azonban a levegő rugalmas kiterjedését nem ismerte, ennél a kísérletnél is gondosan az edény alsó részébe helyezte el a szivattyú



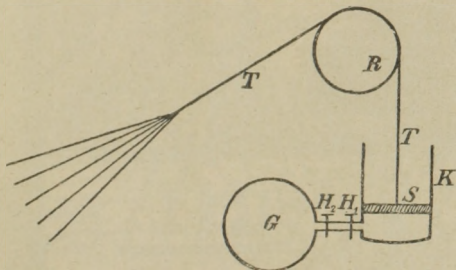
Guericke különböző kísérletei.

csövét. Most azonban siker koronázta fáradozásait (1632 és 1638 között): légüres (helyesebben: ritkult levegőjű) tért kapott, melyről úgy győződhetett meg, hogy a golyó megnyitásánál a külső levegő nagy erővel tödult a golyóba, ha pedig vízbe mártotta és

úgy nyitotta meg, a víz szállt fel a golyóba és azt majdnem teljesen megtöltötte. Nemsokára egy üveg-golyóból is sikerült a levegőt kiszivattyúznia: az újra beléje bocsátott levegő az üveggömbben elhelyezett mogyorókat és kövecskéket élénk mozgásba hozta; ebből azt következtette, hogy a levegő rugalmas. Vékonyfalú palackot is erősített a ritkult levegőjű edényhez: a csap megnyitásánál a palack teljesen széttört, amit Guericke már helyesen a légköri levegő nyomásával magyarázott meg. Hosszú üvegcsöveket állított vízbe, melyeket szintén ritkult levegőjű gömbjeivel összekapcsolt: a csapok megnyitásánál a víz a csövekbe tódult fel. Minthogy aziránt érdeklődött, mekkora magasságra emeli fel a légnyomás a vizet, több ily csövet kötött egymással össze egy magas ház falának mentén; végre arra a pozitív eredményre jutott, hogy a víz a harmadik emeletnél magasabbra, de már a negyedik emeletig nem emelkedett; 19 magdeburgi rőfnek (10.76 m) találta az elért magasságot, a légnyomás nagyságát azonban, bár elvileg helyesen, pontatlanul határozta meg. Ennél a kísérletnél azonban azt is tapasztalta, hogy a víz állása változik; ezért állandósította ezt a szerkezetét és a víz felszínére fából faragott alakot helyezett, melynek egy skála mentén való mozgása megmutatta a légnyomás változását; készülékének a „semper vivum“ vagy „perpetuum mobile“ elnevezést adta (az utóbbi név természetesen semmiféle kapcsolatban nem állott a későbbi másnemű fogalom elnevezésével). Így tehát Guericke is, függetlenül Torricellitől, a légsúlymérő feltalálója. De még egy másik módon is figyelte meg a légnyomás változását: egy mérlegrúdszerű kétkarú emelő egyik végére egy lábnyi átmérőjű, ritkított levegőjű gömböt akasztott, a másikra pedig egy ezzel egyensúlyt tartó fémdarabot; amint a légnyomás növekedett vagy csökkent, aszerint a gömb emelkedett vagy leszállt. Azt is kísérletileg igazolta, hogy a levegőnyomás nagyobb magasságokban kisebb; e célra a levegővel telt és a föld színén lezárt palackot egy torony tetején kinyitotta, mire abból némi levegőmennyiség ömlött kifelé; ha viszont odafönt lezárta a palackot és lent kinyitotta, ismét betódult a levegő.

A legnagyobb bámulatot keltő kísérlete azonban a „magdeburgi félgömbök“-kel végzett kísérlete volt. Két, rézből készült, $\frac{2}{3}$ magdeburgi rőf (38 cm)

átmérőjű félgömböt összeillesztett és belsejükből a levegőt kiszivattyúzta; a légnyomás nagysága akkora volt, hogy 16 ló sem tudta a félgömböket széthúzni; egy másik alkalommal $\frac{1}{2} \frac{9}{10}$ rőf (54 cm) volt a félgömbök átmérője, ezeket 24 lóval sem bírta széthuzatni. Kísérleteit az 1654-iki birodalmi gyűlésen mutatta

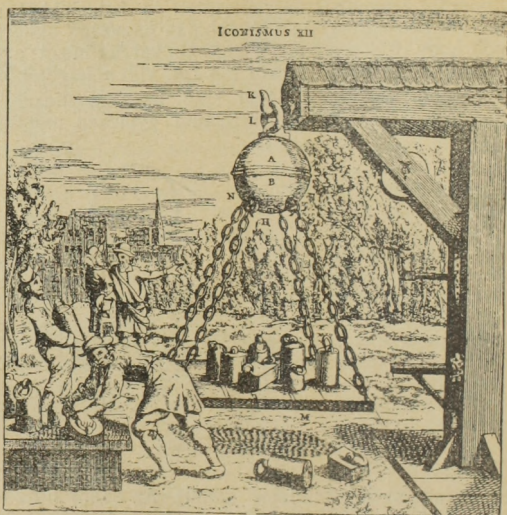


Guericke légszivattyuja.

be és általános bámulatot keltett. Az ekkor hozzáintézett számos kérdés még további kutatásokra és kísérletekre ösztönözte Guericket. Így pl. egy fémköpüben légzárólag mozgatható dugattyút 20 ember sem birt teljesen felhuzni, mikor pedig Guericke még a köpü alsó részébe erősített ritkított levegőjű edény csapjait megnyitotta, úgy hogy a köpüben a levegő még ritkább lett, a légnyomás oly erővel nyomta vissza a dugattyút (melynek átmérője kb. 50 cm volt), hogy ez az embereket mind elrántotta. A magdeburgi félgömbök kísérletét továbbá nemcsak lovak igénybevételével mutatta be, hanem az alsó félgömbre függesztett súlyok segítségével is, amiről az 1663-ban befejezett, de csak 1672-ben kiadott *Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio* című művének egyik illusztrációja tesz tanuságot.

Összes munkásságának és természettudományi felfogásának legjobb képét e hét könyvből álló műve adja meg, melynek tartalma rövid kivonatban a következő.

I. könyv Tartalma a világrendszerek kritikai tárgyalása, melyben a Copernicus-félét jelöli meg,



A magdeburgi félgömbök.

mint egyedüli a valóságnak megfelelőt; azután következik a bolygók rendszerének leírása.

II. könyv. Ebben az üres térről elmélkedik, melynek kérdését már annyiszor felvetették. A legtöbb természetfilozófus elvetette a „vacuum” lehetőségét, többek között Guericke kortársa, *Descartes* is, ki a tér absztrakcióját a testek kiterjedésének absztrakciójával kötötte össze és azt a meggyőződését fejezte ki, ha valamely zárt edényből a testeket el lehetne távolítani, az edény falai valahogyan összeérnének, Guericke más felfogást vall: Sokszor, mikor a hatalmas égi térségeket nézegettem, az a gondolat támadt bennem, vajjon nincs-e ott meg a régóta tagadott vacuum? és nyomban kísérleti úton keresi a megoldást.

III. könyv. Ez számot ad Guericke-nak a lég-szivattyúval végzett összes kísérleteiről, melyekhez az előbb leírtakon kívül még az a kísérlet is meg-



Guericke villamos gépe.

említendő, melylyel kimutatta, hogy a hang a légüres (lég ritkított) térben gyöngül; továbbá még néhány jelenséget sorol fel: légüres térben az állatok elhalnak, égő testek kialszanak, állott sör pezsgésnek indul, lekötött marhahólyag megdagad és felpukkan, stb.

IV. könyv. Ennek tartalma mágnességi és elektromossági megfigyeléseinek leírása. A 7. fejezetnek egy része így szól: „Végy egy ujjhosszuságú vasdrótot, helyezd azt északdéli irányban egy üllőre és kalapáld meg mind a két végét; függeszd fel azután szabadon a drótot és meglátod, hogy úgy igazodik, mint a mágnestű. Azért nyeri el a kovácsok acélszerszáma is, melylyel a vasat átfúrják, ezt az erőt az ismételt erős surlódás miatt és bőven vonzza a vasreszeléket. Sőt mind a vasrácsok is, melyekkel az ablakokat szokták védeni, elnyerik ezt az erőt 15 és több év folyamán a levegőn és pedig nemcsak a vízszintesen északról dél felé futó, hanem a hosszukban függőlegesen álló pálcák is. Alsó végük északi, felső végük déli pólusnak mutatkozik.“ — A 15. fejezetben az elektromossági kísérletekkel ismerkedünk meg Guericke egy forgatható kengolyót dörzsölt puszta kézzel, mire amaz könnyebb tárgyakat magához vonzott és ismét eltaszított. Azt is észlelte, hogy a kengolyó újra magához vonzott egy tollpehelyt, ha azt előbb a kezével megérintette. Szálon függő testekkel is számos megfigyelést tett. Az elek-

tromos sercegést és sötétben való villogást is észre vette, de már az elektromos szikrára nem volt figyelemmel. Kár azonban, hogy Guericke nem fordított még több gondot az elektromos tünetmények tanulmányozására, hanem helyett a „világerők” elméletén mesterkedett, mely szerint a szabad esést a „virtus conservativa”, a mágneses jelenségeket a „virtus directiva vel dirigens” okozza; voltak még ezenkívül a „virtus lucens”, a „virtus colorans”, a „virtus calefaciens”, a „virtus sonans” stb.; az elektromos tünetmennyekkel pedig minden habozás nélkül a Holdnak a Föld körül való mozgását magyarázta és abban is hasonló „világerők” kifejezését látta, hogy miként a forgó kéngolyó papírszeleteket fogva tart és magával körülvisz, úgy a Föld is a rajta levő testeket napi körülfordulásánál magával viszi.

Az V. könyv a Földről és a Holdról szól részletesebben, a VI. könyv a kozmikus rendszerekre vonatkozó csillagászati meggondolásokat, elméldéseket foglal magában („Hinni annyit tesz, mint egy dologhoz hozzájárulni ama tekintély révén, melyet az előadó élvez; tudni annyit tesz, mint egy dolgot okszerűen megismerni”. „Csillagászati dolgoknak nincs közük bibliai kérdésekhez”. „A Szentírásból ismerjük meg az üdvösséghez, de nem a matematikai tudományhoz vezető utat”); a VII. könyv végre a csillagok seregét, ennek legszélsőbb határait és a mindenség végtelenségét tárgyalja.

Robert Boyle (1627—1691) is tudomást szerzett Guericke kísérleteiről és azokat megismételve, megjavította a légszivattyút. Kísérletei közben arra az eredményre jutott, hogy a légüres térben felszálló folyadékok magasságai fordítottan arányosak fajsúlyukkal; ily módon meg is határozta a higany fajsúlyát, melyet $13\frac{3}{4}$ -nek talált (elég pontos eredmény; igazi fajsúlya 13.59). Egyéb kísérletei közül megemlítendő, hogy egy U-alakú cső hosszabb csővébe higanyt töltött, mely a rövidebb és fönt beforasztott csőben levő levegőt összeszorította. Ezt is tételben fejezte ki: a levegő sűrűsége a reá nehezedő nyomással arányos. Tanítványa *Townley* viszont ezt a fogalmazást ajánlotta: hogy a sűrűsített levegő térfogata a nyomással fordítottan arányos Boyle még a ritkított levegővel is megvizsgálta a térfogati és

nyomási viszonyokat, ami azzal az eredménnyel járt, hogy ekkor már egész általánosságban mondhatta ki törvényképen Townley fogalmazását (1660).

Edme Mariotte (1620—1684) Boyle-től függetlenül fedezte fel ugyanezt a törvényt 1679-ben. Az utókor úgy tett igazságot, hogy a törvényt rendszerint Boyle-Mariotte-féle törvénynek nevezi. Mariotte arra is gondolt, hogy a légsúlymérő adataiból a magasságokat is meg lehetne határozni, azonban matematikai készsége nem volt elegendő az idevonatkozó képlet levezetésére. *Edmund Halley* (1656—1742 angol csillagász adta meg a helyes képletet 1686-ban, amennyiben megállapította azt, hogy a magasság (h) a barometrikus adatok logaritmusainak különbségével arányos:

$$h = c (\log b_0 - \log b_h)$$

mely képletben c valamely állandó; ezt azonban Halley még nem tudta megállapítani.

A fény sebességének meghatározásában *Olaf Römer* (1644—1710) dán csillagász törekvéseit siker koronázta. Azt vette észre 1675-ben, hogy a Jupiter első holdjának fogyatkozása a Jupiter és Föld közötti legnagyobb távolság esetében 1000 másodperccel később állott be, mint e két bolygó legkisebb távolságánál; ezt a jelenséget a fény terjedésére szükséges idővel magyarázta meg és így meg is adhatta a fény sebességét másodpercnyi 42.000 mértföldben (300.000 km).

A mechanikának matematikai módszerrel való kiépítése a XVII. században.

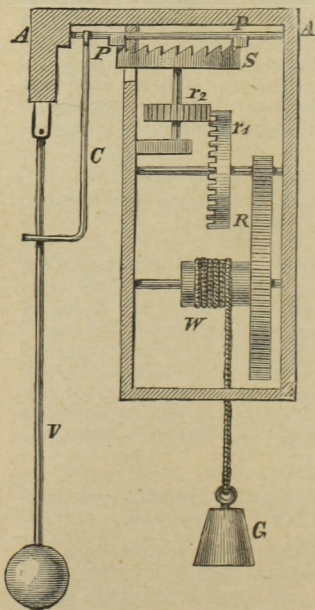
A matematikai módszer nem tekintendő a természettudományi kutatásban mint a kísérleti módszer ellentétje, hanem mint annak kiegészítője, támogatója, igazolója; nem egymás fölé, hanem egymás mellé helyezendő módszerek ezek egymásra való kölcsönhatással. Ha az egyik módszert nagyobb mértékben elhanyagolják, a másik módszer eredményeiben némi bizonytalanság, a meggyőzés hiánya vehető észre. Nagyon üdvös volt tehát a természettudományra nézve az az irány, melyben a XVII. század második felében főleg a germán fajok tudósai haladtak, hogy a kísérleti módszer mellett nagyobb érvényt szereztek

a matematikai megállapításoknak is. A fizikai jelenségek matematikai diszkussziójának azonban még más nagy haszna is háramlik a természettudományra: az a szabatoság, mely a matematikai kifejezésekben rejlik, a nyelvbeli kifejezési módra is nagy hatással van, minek következtében a fogalmak tisztulnak és kifogástalan definíciók fogalmazhatók, ahol ilyenek szükségesek.

Erő, munka, energia, mozgás mennyiség, forgási momentum, stb.: ezek mind oly dinamikai kifejezések, melyeket a matematikai eljárás alapított meg teljes szigorúsággal.

Christiaan Huygens (1629 — 1695) tudományos működésének egyik első eredménye az ingaóra feltalálása volt (1656); az óraművekben mindaddig vízszintesen járó ingát használtak, mely gyors lejárásnál és ingási egyenetlenségeinél fogva eléggé tökéletlenül felelt meg céljának.

A *Horologium oscillatorium* című főmunkájában (1673) az inga elméletét dolgozta ki. Még pedig először a fizikai inga kérdésével fog-



Huygens ingaórája.

lalkozott. Mersenne már 1646-ban vetette fel azt a kérdést, vajjon hogyan lehetne síkidomok lengési idejét kiszámítani? Huygens megoldotta a kérdést: mindekelőtt abból indult ki, hogy kell találni oly pontot az ingó síkidomban, mely úgy mozog, mintha az egész idom tömegét abban, mint a matematikai inga súlyos

pontját összpontosítva képzeljük (centrum oscillationis): Huygens tehát az ú. n. redukált ingahosszúságot kereste; ez pedig annak a matematikai ingának a hossza, melynek lengési ideje egyenlő az illető fizikai ingáéval. Meg is találta ennek értékét; a redukált ingahosszúságot megkapta, ha az illető síkidom tétlenségi nyomatékát elosztotta annak forgási nyomatékával ($I = \Sigma mr^2 : \Sigma mr$). Az akkor még fel nem talált integrálszámítás hiánya miatt azonban csak egyszerű idomokra és testekre vonatkozólag tudta azt meghatározni. De viszont megtalálta azt a fontos tételt, hogy a centrum oscillationis és a felfüggesztési pont egymással felcserélhető, anélkül, hogy a lengési idő megváltóznék. Ezek után Huygens a matematikai inga lengési idejét keresi. Levezetése teljesen elűt a mai nap szokásos levezetésektől és rendkívül érdekes bepillantást nyújt abba a nagy matematikai apparátusba, mellyel annak a kornak tudósai éltek. Huygens, mint kutató matematikus azt az eredményt találta meg, hogy a lefelé irányult ciklois ú. n. izokrón vagy tautokrón görbe, aminek értelme az, hogy a bármelyik pontjából kiinduló, rajta, mint lejtőn eső test egyenlő időkben ér a legmélyebb pontjára. Egy másik tétele az volt, hogy az a t idő, mely alatt a ciklois bármely pontjából leguruló test egy lengést végez, úgy aránylik ahhoz a τ időhöz, mely alatt egy test a ciklois d magasságán át szabadon esik, mint a kör kerülete a kör átmérőjéhez, miből tehát $t = \pi \tau$. A szabadon eső test által az egy másodperc alatt megtett út pedig

$$s_1 = \frac{g}{2} \text{ (hol } g \text{ a gyorsulás). és így :}$$

$$\tau^2 : 1 = d : s_1 ;$$

ebből :

$$\tau = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

és így :

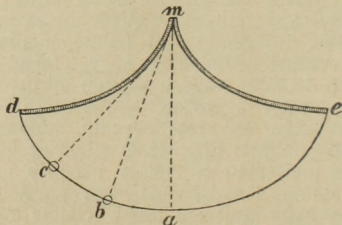
$$t = \pi \sqrt{\frac{2d}{g}}.$$

Vége pedig megállapítja, hogy a ciklois legmélyebb pontjához tartozó ú. n. görbületi kör sugara $\rho = 2d$ és minthogy a görbe e pontja körül felvett

végtelen kicsiny íveleme összeesik a görbületi kör végtelen kicsiny ívelemével, teljesen azonos mozgások folynak le, akár a ciklois ez ívelemén gurul le a test, akár egy $2d = l$ hosszúságú matematikai inga súlyos pontja esik le a kör ívelemén; így tehát az inga lengési ideje:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Minthogy azonban ez a képlet csak végtelen kicsiny amplitudora vonatkozólag érvényes, Huygens egy ciklois ingát szerkesztett: az ingának, hajlékony szálát két ciklois alakulag hajlított bádogszalag közé helyezte, miáltal az inga mozgása közben a szál e cikloisokra rásimult, az inga súlyos pontja pedig



Huygens ciklois ingája.

közben a cikloisoknak ú. n. evolvenset írta le, mely ugyancsak az eredetiekkel egybevágó ciklois; gyakorlati eredménye azonban nem volt e szerkezetnek a nagyfokú súrlódás és a fonál merevségi ellenállása miatt.

Viszont nagyon hasznosnak mutatkozott a képlet a g gyorsulás számbeli értékének meghatározására; Huygens ugyanis pontos másodperc ingát készített és az inga hosszának méretéből ($t = 1$ lévén, $g = \pi^2 l$ alapján) kiszámíthatta g értéket, melyet 31 lábnak (978 m) talált.

Huygens egy ízben azt ajánlotta, hogy a másodperces inga hosszúsága vétessék a hosszúsági mértékek egységéül, de nemsokára lemondott az ebbeli törekvésekről, mert egyrészt nem vették

figyelembe javaslatát, másrészt pedig ő is nemso-kára meggyőződött arról, hogy nem tett szert abszolút mértékre; időközben ugyanis *Jean Richer* († 1696) csillagász földméréseket végezván 1671 $\frac{1}{2}$ -ben Cayenne szigetén, észrevette, hogy Párisból magával vitt ingás órája naponként 2 perccel késett, mire az inga hosszát $1\frac{1}{4}$ vonallal (3.4 cm) megrövidítette, Párisba visszatérve pedig ismét ugyanennyivel meg kellett hosszabbítania. Richer maga is úgy magyarázta ezt a jelenséget, hogy a Föld alakja nem tökéletes gömb, hanem a sarkoknál lapult, de Huygens szintén ebben a felfogásban volt és magát a Föld lapultságát is megmagyarázta a centrifugális erő alapján, melyet

mathematikai tanulmányaiban $\frac{v^2}{r}$ értékűnek talált és kísérletileg is bemutatta a jelenséget, amikor puha agyaggolyót gyors forgásba hozott (1667).

Huygensnek nagyon fontos műve a *De motu corporum ex percussione* című (1669), melyben azt a tételt fejtette ki, hogy a rugalmas testek ütközésénél a testek tömegéből és sebességének négyzetéből alakított szorzatok változatlanok maradnak:

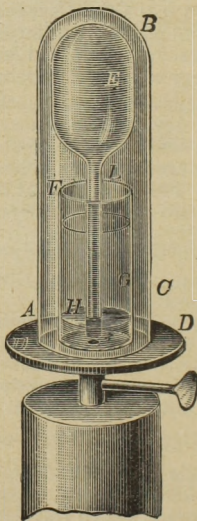
$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = (m_1 + m_2) v^2$. Ugyancsak 1669-ben mondotta ki a „perpetuum mobile“ lehetetlen voltát.

Az 1690-iki *Traité de la lumière* is a fizikai irodalom egyik legkiválóbb terméke: ebben Huygens a fény hullámelméletét (unduláció) veti fel, mellyel a fény visszaverődését és törését tudja megmagyarázni; nagy hatást azonban az új elmélet nem ért el: mindenki még az anyagelmélet (emanáció, emisszió) híve volt e korban.

Csillagászati felfedezései közül a legnevezetesebb a Saturnus gyűrűinek felfedezése.

Huygens azonban kísérletileg is gazdagította a tudományt; így többek között lényegesen megjavította a légszivattyút, melyet úgy állított össze, hogy az üvegburát simára csiszolt tányérra helyezte és a légnyomás mérésére az ú. n. barometerpróbát alkalmazta; ez abban állott, hogy egy vízzel telt edényt felfordítva vizet tartalmazó edénybe helyezte: az ily módon összeállított vízlégsúlymérő bizonyos kis légnyomáson alul megmutatta tehát a légnyomás nagyságát. Kísérletezései közben azt is tapasztalta, hogy e vízlégsúlymérőben a víz mindkét

edényben egyenlő magasságban állott, amit úgy magyarázott, hogy abszolút légüres tért sikerült elérnie; hogy a keletkező vízpárák töltik meg



Huygens légszivattyuja.

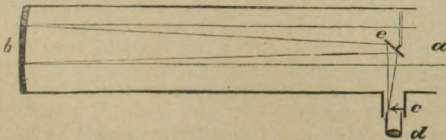
részen a ritkított levegőjű tért, azt még nem ismerte fel. A légszivattyúnak egy további javítása is idekapcsolódik, melyet *Denis Papin* (1647 — 1712) eszközölt két köpü és higanybarometer alkalmazásával (1676). Papin még egy másik találmány révén áll összeköttetésben Huygens-szel. Ez utóbbi ugyanis az ú. n. löpörgépet találta fel (1673), mely a gőzgépek és gázmotorok elődjének tekinthető. Vashengerben egy dugattyu mozoghat légzárólag, melyet az alatta meggyújtott lőporból származó gázok feszítőereje felfelé tol; viszont a légnyomás visszatolja, ha a gázok eltávoznak a hengerből. Papin 1690-ben a hengerben a lőpor helyett vizet használt, melyet felváltva felforralt és ismét lehűtött. Az ennek alapján szerkesztett gőzgépével már

hajót is tudott hajtani, de gépének további tökéletesítését pénzbeli segítség hiánya és halála akadályozta meg és nevét inkább a róla elnevezett digesztor (Papin-féle fazék) őrizte meg.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 — 1716) filozófiai és matematikai diszciplínákkal járult hozzá a fizikai alapfogalmak megállapításához. Megalapítója volt a monadológiának, mely szerint a monád az egyszerű kiterjedés nélküli szubsztancia; a szubsztancia az, ami hatni képes, a cselekvő erő (a kifeszített íj erejéhez hasonlóan) a szubsztancia lényege. Így tehát a monádok az így nevezendő atomok, melyek azonban a Demokritos-féle atomokkal nem azonosak, mert kiterjedés nélküliek (metafizikaiak) és erők hat-

nak reájuk, melyek képzetekben állanak. Az erő pedig az „akció principiuma“, mely a testeket akcióra és reakcióra teszi képessé; van „aktív“ és „passzív“ erő, mely utóbbi az ellenállási erő; külső megnyilatkozásukban mint „vis viva“ és „vis mortua“ lépnek fel, az előbbi a testeket mozgásba hozza és azt a képességet fejleszti ki bennük, hogy más testeket is mozgásba hozni képesek, az utóbbi pl. az alátámasztott vagy felfüggesztett nyugvó test nyomása, húzása. E szubtilitásoknál minden esetre sokkal értékesebb volt a mechanikára nézve Leibniznek az a törekvése, hogy az „eleven erő“ nagyságát matematikailag kifejezze; 1695-ben kijelentette, hogy az eleven erő nagyságát az mv^2 szorzat fejezi ki, ellenében Descartesnak mv által mért mozgásmennyiségével. Leibniz a mechanikai jelenségeket az ütközésből törekedett levezetni és így a „fizika nagy principiuma“ is abban áll, hogy „a test sohasem szenved változást mozgásában, csak egy másik, mozgásban levő test által, mely löki“; a test mozgásánál az erő és ennek iránya állandóan megmarad.

Az újabb matematikai vagy elméleti fizika és a fizikai csillagászat megalapítója *Isaac Newton* (1642 – 1727). Első matematikai tanulmányai után optikai vizsgálatokat eszközölt, melyek alapján 1666-ban a



Newton tükörteleszkópja.

napsugárnak prizma segítségével való felbontásához, a spektrumhoz jutott, mely azt bizonyította, hogy a különböző színű fénysugarak különböző törékenységek. 1671-ben tükörteleszkopját fedezte fel. Optikai vizsgálataitól 1672-ben számolt be *Philosophical Transactions* című munkájában, melyben egyszersmind emisszió- vagy emanációelméletét fejtegette ki. A következő években a vékony lemezek

színes gyűrűit (melyeket Boyle már 1663-ban észlelt szappanbuborékokon) tanulmányozta és iparkodott elméletüket kifejteni; egy e tárgy körül folyó vitatkozás miatt azonban elhalasztotta optikai tanulmányainak közreadását.

A fizika történetében való óriási jelentőségét azonban az általános nehézkedési törvény tanulmányozása és megállapítása szerezte meg neki. A nehézségi erő felfedezését ugyan nem tulajdoníthatjuk neki, de a törvény alapját ő találta meg, a rajta nyugvó elmélet kifejtése, az egyetemességre vonatkozó rendszer kiépítése az ő érdeme. Hiszen már Borelli is azt fejtegette 1666-ban *Theoriae Mediceorum Planetarum* című művében, hogy a bolygók a gravitációs erő folytán esnek a Nap felé, de a Napba való esésüket egy másik, a centrifugális erő akadályozza meg, mely utóbbi pl. a paritttyában forgatott kőnél nyilvánvalóan tapasztalható. Newton ugyanabban az évben elmélkedett a Holdnak a Föld körül való mozgásáról és arra a következtetésre jutott, hogyha a Holdat a Föld nem vonzaná, az egyenes pályán haladna tovább, így azonban a két égitest között valamely vonzási erőnek kell hatnia. Időközben azonban optikai tanulmányai eltérítették a nehézségi erőről való további elmélkedéséről és a kérdést Robert Hooke (1635–1703) vitte tovább egy lépéssel, amikor 1674-ben három tételben fejezte ki a bolygók vonzására és mozgására vonatkozó tanulmányainak eredményét: 1. minden égi test nemcsak saját részeire, de minden többi égi testre fejt ki vonzó erejét, 2. minden egyenes vonalú és egyenletes mozgásban levő test mozgását mindaddig folytatja, amíg valamely külső erő ebből ki nem téríti, 3. a vonzó erő annál nagyobb, minél közelebb vannak egymáshoz a testek. Egy Newtonhoz intézett levelében pedig már kimondja, hogy a vonzó erő a távolság négyzetével fordítva arányos. Christopher Wren (1632–1723), a londoni Szt Pál-templom építője is a bolygók pályáját egy érintő irányú lökésből és a két bolygó közötti vonzó erőből törekedett levezetni. De Halley is rábukkant a vonzó erőnek a távolság négyzetével való fordított arányára, amikor Kepler harmadik törvényéből indult ki. Newton is a harmadik Kepler-féle törvény segítségével kapta meg a vonzó erők arányát kb. ily módon:

$$t_1^2 : t_2^2 = r_1^3 : r_2^3;$$

minthogy az egész pályák hosszai $2r_1\pi = v_1t_1$ és $2r_2\pi = v_2t_2$, úgy

$$\frac{4r_1^2\pi^2}{v_1^2} : \frac{4r_2^2\pi^2}{v_2^2} = r_1^3 : r_2^3;$$

kellő rövidítés után származik

$$\frac{r_1}{v_1^2} : \frac{r_2}{v_2^2} = r_1^2 : r_2^2;$$

minthogy pedig a centrifugális gyorsulás

$$\gamma = \frac{v^2}{r},$$

az aránylat ez:

$$\frac{1}{\gamma_1} : \frac{1}{\gamma_2} = r_1^2 : r_2^2$$

vagyis

$$\gamma_1 : \gamma_2 = \frac{1}{r_1^2} : \frac{1}{r_2^2}.$$

Minthogy Newton alapgondolata mindig az volt, hogy a Hold esése a Föld felé (mert hiszen ha a Hold nem esnék a Föld felé, akkor tangenciális irányban távolódnék el tőle), teljesen azonos pl. a kőnek a súlya folytán való esésével és így a gyorsulásnak is ugyanannak kell lennie; számításai azonban a Holdra vonatkozólag nem a 31 párisi lábat eredményezték, hanem csak $26\frac{2}{3}$ lábat. Emiatt maga is bizalmát veszítette az új elmélet iránt. 1682-ben azonban megkapta az új Jean Picard-féle fokmérés eredményeit, az ezek alapján kiszámított gyorsulási érték kielégítően közelítette meg az igazi értékét. Így tehát visszatért a gravitáció-törvény kifejtéséhez és 1687-ben kiadta a *Philosophiae naturalis principia mathematica* című főmunkáját, mely a fizikai irodalomnak is egyik legfontosabb terméke. Tartalmának lényegét a következők ismer-
tetik meg.

Az előszó a mechanika jelentőségét és a matematikával való kapcsolatát körülvonalozza és a fizika feladatát jelöli meg. Azután Euklides matematikai módszerének mintájára definíciók vezetnek be a művet, majd az „*Axiomata sive leges motus*” cím alatt a mechanika alapvető mozgási törvényei szólnak meg, melyeket egyes magyarázó megjegyzések és ú. n. korolláriumok (folyományos tételek) kiegészítenek. *A mozgási törvények* ezek:

I. Minden test nyugalmának vagy egyenletes és egyenes vonalon való mozgásának állapotát megtartja, amíg külső erők állapotának megváltoztatására nem kényszerítik.

II. A mozgás változása arányos a külső mozgató erővel és abban az egyenes vonalban történik, melyben az erő hat.

III. A hatással mindig ellenkező irányú és vele egyenlő nagy ellenhatás van: vagyis két testnek kölcsönös hatásai mindig egyenlők és ellenkező irányúak.

A *korolláriumok* is eléggé jelentősek arra, hogy tartalmuk megismertessék. Ezek a következők:

I. Két erő hatása alatt a test a parallelogramma átlóját ugyanabban az időben futja meg, amelyben az oldalokat külön futotta volna meg.

II. Ebből következik, hogy két, egymáshoz ferdén álló erőből miként lehet egyetlen erőt szerkeszteni és fordítva miként lehet bármely erőt két tetszés szerinti irányu erőre felbontani.

III. A mozgás, melyet úgy nyerünk, hogy az egyirányu mozgások összegéből az ellentett irányu mozgásokat kivonjuk, a testek között működő hatások következtében nem változik.

IV. Két vagy több test közös súlypontja e testek között működő belső erők folytán nyugvását vagy mozgását meg nem változtatja; ha tehát a kívülről jövő hatásokat és akadályokat kizárjuk, akkor ez a közös súlypont vagy nyugszik vagy egyenes vonalon egyenletesen mozog tovább.

V. Adott térbe zárt testeknek egymásra vonatkoztatott mozgása ugyanaz, akár nyugszik ez a tér, akár pedig egyenletesen, egyenes vonalon mozog tovább, anélkül, hogy körben mozogna.

VI. Ha egyenlő nagy és párhuzamos gyorsító erők kezdenek oly testekre működni, melyek előzőleg

egymásra vonatkoztatott tetszés szerinti mozgásban voltak, akkor egymásra vonatkoztatott mozgásukat úgy folytatják, mintha a közös gyorsító erők nem is hatnának rájuk.

De motu corporum liber primus et secundus. E két könyv a testek mozgását egyenes és görbe pályákon általában, majd a hajított testek, az inga és a körben mozgó testek, továbbá pedig a folyadékok mozgását tárgyalja.

De mundi systemate. Liber tertius. A filozófiai gondolkodás szabályainak bevezetésül való ismeretése után az előbbi könyvekben tárgyalt mechanikai eredményeket az öt bolygó valamint a Hold és a Jupiterholdak mozgásában mutatja ki. E III. könyv öt fejezetből áll; ezeknek elseje: „De causis systematicis mundani (A világrendszer okairól)“ címmel tételeket foglal magában oly tartalommal, hogy azok az erők, amelyek a holdakat, avagy a főbolygókat az egyenes vonalú mozgásból folytonosan kitérítik és amelyek azokat pályáikon megtartják, a főbolygók avagy a Nap középpontja felé irányulnak és a távolság négyzetével fordítva arányosak, tehát a holdak főbolygójuk, a főbolygók pedig a Nap felé nehezek. Az összes testek nehézségéről a VI. tétel szól: „Minden test afelé a bolygó felé nehéz, amelyen van; akármelyik bolygóból származó nehézségi erő a bolygó középpontjától számított egyenlő távolságokban arányos az illető test tömegével“. Az e tételhez csatlakozó korolláriumok közül pedig fontosabbak az I.: „A test súlya független alakjától és szerkezetétől“, a IV.: „Ha a testeket egyenlő sűrűségű szilárd részecskékből összetetteknek képzeljük, akkor vakuumnak is kell lennie“, valamint az V.: „A nehézségi erő különbözik a mágneses erőtől, mert ez nem arányos az anyaggal“. Végre pedig az általános tömegvonzást a VII. tétel fejezi ki: „Minden testben van nehézségi erő és az arányos az illető test anyagával“. A III. könyv további fejezetei: 2. a Holdegyenlőtlenségekről, 3. a tenger árapályáról, 4. a precesszióról, 5. az üstökösökről.

Newton nagy természettudományi vívmánya tehát annak a kimutatásában áll, hogy a Nap és főbolygók, a főbolygók és holdjaik, a bármely égitest és a rajtuk levő testek meg az összes testek között ugyanaz az egy vonzó erő működik, melynek

mathematikai kifejezését is sikerült megállapítania, úgy, hogy a mindenség bármely két tömege közötti vonzó erő nagyságát ebben a képletben vagyunk képesek meghatározni:

$$P = f \frac{m_1 m_2}{r^2};$$

f az az erő, mellyel két, 1—1 g-nyi, egymástól 1 cm-nyi távolságban levő tömeg egymást vonzza (értéke: 0 000 000 06685 dyn, melyet azonban csak Newton után egy századdal később voltak képesek meghatározni).

Newton optikai főműve: *Optics* 1704-ben jelent meg: benne a fény visszaverődését, törését, elhajlását és színeit tárgyalja. A mű végére 31 kérdést csatolt, melyek legnagyobbbrészt optikaiak, de van közöttük néhány mechanikai is.

A fényelhajlásnak, melyet Newton „inflexió“-nak nevez, felfedezője *Francesco Maria Grimaldi* (1618—1663) jezsuita természettudós volt, ki azt vette észre, hogy egy kis nyíláson áthaladó fénynyalábba helyezett pálca árnyéka nála szélesebb volt és szélein színes sávokat mutatott. Ezt a jelenséget „diffrakció“-nak nevezte, de okát nem tudta megadni. A fény interferenciáját is ő fedezte fel, mikor két kis nyíláson áthaladó fénynyaláb úgy esett a fényt felfogó ernyőre, hogy a nyílás képei részben összeestek és ekkor sötétebb íveket vett észre a különben világosabb közös rész határain. Halála után két évvel kiadott műve ugyan ennek a jelenségnek sem adja meg a helyes okát (a fényt mint valamely nagyon ritka folyadék hullámszerű mozgását állítja oda) de a megfigyelést helyesen írja le a 22. főtételeiben: „Ha ahhoz a fényhez, melyet egy megvilágított test kap, még fény járul, sötétebb lehet“.

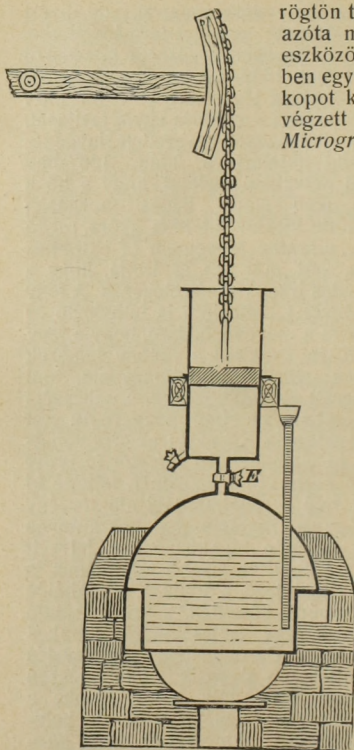
1669-ben fedezte fel *Erasmus Bartholinus* (1625—1698) az izlandi páton a fény kettős törését; azt is megállapította, hogy az egyik törött sugár a rendes fénytörési törvényt követi, a másik pedig attól eltér. Az *Optics* 31 kérdésében Newton már szóvá teszi a kettős törést, valamint a polarizációt is.

A XVII. század második felében fejtette ki sokirányú munkásságát *Robert Hooke*, ki ugyan sok kellemetlenséget is okozott kortársainak örökös

prioritási igényeivel és vitatkozásaival, de azért mégis méltán megörökitelte nevét a természettudományok történetében. Tevékenységéről a következő adatok nyújtanak képet. 1658-ban az ő segédkezésével készítette el Boyle a légszivattyút (l. 56. lap). Ugyanerről az évről keltezi a zsebóra egyik javítását, mely miatt 1675-ben vitatkozásba keveredett Huygensszel ennek 1674-iki találmánya után. 1667-ben *Micrographia* című művében kijelenti, hogy a hő a test molekuláinak igen élénk, heves mozgása; ugyanitt a fényt fölötte kicsiny kitérésű gyors, rezgő mozgásnak (quick, vibratile movement of extremes shortness) mondja, sőt már azt is állítja, hogy a fényrezgések a terjedés irányára merőlegesek. A fény elhajlásának tűneményét („deflexio“) is felfedezte és éppen ez juttatta arra a meggyőződésre, hogy a fény hullámmozgás. A 70-es években a vékony lemezek színeit és a színes gyűrűket tanulmányozta, ami miatt Newtonnal került összeütközésbe. A nehézségi törvények felfedezésében azonban nagy része volt (l. 64. lap), amit Newton is elismert; az erre vonatkozó tanulmányait és elméletét *An attempt to prove the motion of the earth* című művében fejtette ki 1674-ben. 1679-ből való a rugalmassági alaptörvény meghatározása, hogy a rugalmassági erő arányos a kitéréssel, amit e tömör fogalmazásban fejezett ki: *ut tensio, sic vis*. Sokféle kisebb találmánya is volt: egy borszesz-vízszintező, a noniusz, a pókhálós teleszkóp mint szögmérő készülék, a szögmérőkön a csavar alkalmazása, egy mélységmérő, kerek barometer, esőmérő; a Cardano-féle felfüggesztés (l. 35. lap) egyik változatán alapszik a nem egészen jogosan így nevezett Hooke-féle kulcs. Hooke a hajcsövességi tűneményeket is megfigyelte, de helytelenül magyarázta azokat: a levegővel hozta kapcsolatba e jelenségeket; úgy hitte, hogy ha a levegő tapadása a szilárd falhoz erősebb a folyadéknak ahhoz való tapadásánál, domboru felületet alkot a folyadék, ellenkező esetben homorut.

Csillagászati megfigyelései közben az álló csillagok látszólagos évi elmozdulását is észrevette, de még nem találta meg a tűnemény okát: az aberrációt.

Hooke a teleszkóp mellett a mikroszkópra is fordította figyelmét. A Janssen-féle mikroszkópot (l. 27. lap) Galilei 1622-ben látta először Rómában,



Az 1705-iki gőzgép.

rögtön tudott vele bánni és azóta maga is készített ily eszközöket. Hooke 1665-ben egy összetett mikroszkopot készített és az ezzel végzett megfigyeléseket a *Micrographia*-ban közre-

adta. Kortársa, *Antoni Leeuwenhoek* (1632/1723) azonban továbbra is egyszerű mikroszkópokat készített, melyekkel mindazonáltal bámulatos felfedezéseket tett állattani, növénytani és anatómiai téren (többek között meglátta a vörös vértestecskéket 1673-ban).

Végre pedig Hooke közvetítésével ismerkedtek meg *Thomas Newcomen* és *John Cawley* iparosok a Papinféle gőzgéppel, melyet mint alacsony nyomású gőzgépet annyira tökéletesítettek, hogy az 1705-ben nyert szabada-

lom alapján nagy mértékben elterjedt.

A XVIII. század.

Newton saját korára és az utókorra – mondhatnók – pedagógiai hatással is volt: nemcsak a tudományt gazdagította, hanem módszert is tanított, miképpen kell klasszikus egyszerűséggel, világos

kifejezési módon tudományos igazságokat megfogalmazni. Az utókor azt is megtanulhatta, hogy nem kell megijedni új igazságok kimondásától, ha elég megfigyelés, adat, okszerű kapcsolat mutatkozik arra, hogy eleinte bizonyos sejtelemszerűség, később már határozottabb meggyőződés támadjon az új igazságok irányában a lelkekben. Newton nagy jelentősége a XVIII. század kezdetekor lesz teljességében nyilvánvalóvá és így a XVIII. század tudományos kultúrája az ő nevelésében és szellemében halad: fegyelmezettebb, céltudatosabb, biztosabb kutatás érvényesül a természettudományok minden ágában és az a törekvés is mutatkozik, hogy a természettudományok egy-egy része rendszeresen fejlesszessék, diszciplinái összefoglaltassanak és ezekből egyes általános érvényű, egységes törvények megállapíttassanak.

Ezek a módszerbeli jelenségek lehetővé teszik azt, hogy a XVIII. század fizikai történetét a fizika egyes részeinek fejlődésében mutassuk be.

a) *Mekanika.*

A matematikai módszer, mely Newton és Leibniz által új diszciplinákkal: a differenciál- és integrálszámítással gazdagodott, továbbra is nagy befolyást gyakorolt a fizikai, főleg a mechanikai kutatásokra. Az egyensúlyi feltételek, mozgási törvények megállapítása kevésbbé alapszik érzéki megfigyeléseken, hanem inkább matematikai spekuláció révén válik lehetővé.

A XVII. század nagy matematikusainak útján haladt kortársuk *Jacques Bernouilli* (1655–1705), ki különböző mozgási problémákat fejtett meg: tisztán matematikai módon oly görbe vonalokat határozott meg, amelyekben való esés bizonyos feltételeknek megfelelt. Öccse, *Jean Bernouilli* (1667–1748) a lengési középpont meghatározásával foglalkozó művében (*De natura centri oscillationis* 1714) az eleven erő fogalmát állapította meg és jelentőségét világította meg. Fia, *Daniel Bernouilli* (1700–1782) három nevezetes mechanikai elvet állapított meg: az erő-parallelogrammáét, a felületek megtartását (ez tulajdonképpen a forgási momentumok elve) és az erő kmgemaradását. Ez utóbbit *Hydrodynamica* című

művében (1738) fejezte ki és erre alapította a folyadékok mozgási egyenleteit olyformán, hogy a folyadék első része akkora sebességet ér el, mely éppen arra szükséges, hogy az ugyanarra a magasságra felemeltesék, amelyről leesett.

Leonhard Euler (1707 – 1783) műve: *Mechanica sive motus scientia* (1736) analitikai módon tárgyalja a mechanikai problémákat; az első könyv egy szabadon mozgó pont, a másik a kényszerpályán mozgó pont mechanikáját tárgyalja. Eközben gyakran használja a mozgásnak tangenciális és normális komponenseire való felbontást, ami a tárgyalást nehezíti, minthogy a görbéknél ez irányok folyton változnak. Jelen-tékeny egyszerűsítést végzett ebben a tekintetben Colin Maclaurin (1698 – 1746), aki *A complete system of fluxions* című művében (1742) a térbeli mozgásokat három egymásra merőleges, állandó tengelyre vonatkoztatva bontotta fel komponenseikre.

Az egyes pontokkal szemben más matematikusok pontok rendszerével foglalkoznak és köztük Jean le Rond d'Alembert (1717 – 1783) fejezte ki *Traité de dynamique* című munkájában (1743) azt az elvet, mely szerint a mozgási egyenletek az egyensúly feltételeire vezethetők vissza; tétele így szól: ha valamely módon egymással összekötött pontok rendszerére erők működnek, az erők egy része tényleg érvényre jut azzal, hogy mozgást létesít; egy másik része azonban a pontok összeköttetéseinél fogva hatástalanná lesz és megsemmisül; ha ezek a megsemmisülő erők egyedül működnének a pontokra, bármely pillanatban egyensúlyt tartanának; ez egyensúly feltételei adják meg az egész rendszer mozgási egyenleteit * Ez egyenletek felállítása körüli nehézségeket Joseph Louis Lagrange (1736–1813) küszö-

* Matematikai kifejezése a d'Alembert-féle elvnek ez az egyenlet:

$$\Sigma \left[\left(m \frac{d^2x}{dt^2} - X \right) \delta x + \left(m \frac{d^2y}{dt^2} - Y \right) \delta y + \right. \\ \left. + \left(m \frac{d^2z}{dt^2} - Z \right) \delta z \right] = 0,$$

hol δx , δy és δz a pontok tetszőleges elmozdulásai.

bölte ki *Mécanique analytique* című művében (1788) közölt egyenleteivel.*

Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698—1759) is egy mechanikai elv kimondásával örököltette meg nevét, bár elve nem egészen független általánosabb mechanikai elvektől. Nevezetesen a virtuális sebességek elvétől. A Maupertius-féle elv a legkisebb hatások elve (1744) és így szól: ha a természetben valamely változás megy végbe, az erre fordított hatás-mennyiség (a tömeg, sebesség és a befutott út szorzata) a lehető legkisebb (minimum).

A mechanika gyakorlatibb ágai közül a ballisztika fejlődött ki nagyobb mértékben. A ballisztika alapvető problémája az volt, hogy milyen a hajított (esetleg szabadon eső) test mozgása ellenálló közegben. Newton az ellenállást a sebességgel egyenes arányban állónak vette fel, Jean Bernouilli azonban megoldotta a feladatot abban az esetben is (1718), ha az ellenállás a sebességnek nemcsak négyzetével, hanem bármelyik hatványával arányos. Minthogy azonban éppen ez a hatványkitevő volt ismeretlen, másrészt pedig a lövegek kezdő sebességét sem tudták pontosabban meghatározni, inkább kísérleti úton törekedtek eredményeket elérni. *Benjamin Robins* (1707 - 1751) e célra 1740-ben az új ballisztikai ingát használta: egy nagyon súlyos függő testre irányította a lövegeket és annak kitéréseiből határozta meg a lövegek sebességét. Eredményeit 1742-ben közzétette *New principles of gunnery* című művében; úgy találta, hogy kisebb sebességeknél a levegő ellenállása nagyjában a sebesség négyzetével arányos,

* A Lagrange-féle egyenletek ezek:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = X + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \mu \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \dots$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = Y + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \mu \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \dots$$

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = Z + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \dots,$$

hol $\varphi = 0$, $\varphi = 0$, stb. a rendszer pontjai közötti feltételek egyenletei és λ , μ , stb. az u. n. Lagrange-féle multiplikátorok.

nagyobb sebességeknél (másodpercenkénti több száz lábnál) azonban nagyobb hatvány szerint növekedik az ellenállás; az ú. n. ballisztikai görbe nem parabola, sőt közel sem áll ahhoz és emelkedő ága jelentékenyen nagyobb a leszálló ágánál. — A folyadékok ellenállásának megismerésére is sokan beható kísérleteket eszközöltek és itt is nagyjában az ellenállásnak a sebességgel való négyzetes arányát tartották mértékadónak.

Hidromekanikai tanulmányokat a pozsonyi születésű *Segner János András* (1704–1777) is végzett és e tekintetben elért eredményeit 1750-ben két értekezésben adta közre; ezekben írta le a kiömlő víz reakcióján alapuló vízi kereket, melyet elméletileg is megokolt. Segner a folyadékcsöppekre vonatkozólag is végzett kísérleteket és elméleti számításokat (1751).

Az aeromechanika is inkább gyakorlati irányba terelődött, amennyiben a léggömbök felszállása keltett nagy érdeklődést. Az első léggömböt *Bartolomeo Lourenço de Guzman* jezsuita fizikus (1685–1724) bocsátotta fel 1709-ben; a papiros léggömböt a kísérletező meleg levegővel töltötte meg. Hosszú szünet után a *Montgolfier-testvérek* (*Joseph-Michel*: 1740–1810 és *Jacques Etienne*: 1745–1799) eszközöltek hasonló kísérletet: 1783. jun. 5-ikén szállt fel az első „Montgolfière”, egy kb. 12 m átmérőjű, meleg levegővel töltött vászon-léggömb és vagy 300 m magasságot elérve 9 km-nyi távolságban ismét lebozsátkozott. *Jacques Alexandre César Charles* (1746–1823) 1783. aug. 27-ikén a hidrogénnel töltött 4 m átmérőjű „Charlière”-t bocsátotta fel, mely három-negyed órányi utazás után vagy 8 km-nyi távolságban ismét földet ért. — 1783. okt. 21-ikén szálltak fel emberek első ízben a levegőbe egy „Montgolfière”-ben: *Pilâtre de Rozier* (1766–1785) és *Marquis d'Alandes*; az első út szerencsésen sikerült: a bátor léghajósok 25 perc múlva sértetlenül a földre értek; dec. 1-én Charles szállott fel egy „Charlière”-ben és ugyancsak szerencsésen ért vissza a földre. *Pilâtre de Rozier* azonban már 1785. jun. 13-ikán lebukott kombinált léggömbjével és halálra zúzta magát.

A fizikával kapcsolatban állnak a XVII. és XVIII. században végzett nagyszabású földmérések is. 1683 és 1718 között végeztek először fokméréseket, de ezek oly sajátoságos eredményeket szár-

maztattak, melyek a XVII. század közepén új felméréseket tettek szükségessé; ezek már megnyugtató eredményeket szolgáltatottak. A XVIII. század utolsó tizedében eszközölt francia fokmérés pedig a *méter* hosszúságának megállapítását eredményezte. E nagyjelentőségű határozatra vezető mozzanatok egymásutánja ez volt: 1790. május 8-án a francia nemzetgyűlés a hosszúsági egység mértékül a 45. szélességi fokon elhelyezett másodpercinga hosszúságát határozta el, ezt a gondolatot azonban elejtette és 1791. márc. 30-ikán a délkör negyvenmilliomod részét kívánta egység mértéknek felvenni; ezt azonban előbb meg kellett határozni: *Pierre François André Méchain* (1744—1804) és *Jean-Bapt.-Joseph Delambre* (1749—1822) végezték el a megfelelő ív felmérését 1792 és 1799 között, mely felmérés lehetővé tette, hogy az 1800. június 25-iki törvény az így megállapított hosszúságot, mint egység mértéket kijelölhesse.

Az 1735—1742 között Peruban végzett fokmérések viszont nevezetes fizikai eredményekkel jártak. *Pierre Bouguer* (1698—1758) ugyanis észrevette, hogy a Chimborasso lejtőjén a függő ón 7—8 ívmásodperccel tért el a csillagászatilag megállapítható függőleges vonaltól; a jelenséget helyesen a hegy tömegének az ingára gyakorolt vonzásával magyarázta és egyszersmind módot is látott arra nézve, hogy a hegy tömegéből és az ingának kitéréséből a Föld tömege meghatározassék *Nevil Maskelyne* (1732—1811) és *Charles Hutton* (1737—1823) 1774—1776 között meg is valósították Bouguer gondolatát: a skótszági Shehallien majdnem pontosan kúpalaku hegy tövében megmérték az inga eltérését a függőlegestől és néhány adat közül a 4.93 értéket találták legvalószínűbbnek mint a Föld sűrűségét kifejező számot. Sokkal értékesebb eredményeket ért el *Henry Cavendish* (1731—1810), ki az 1797—1798. években a *John Michell* († 1793) hagyatékából ismert torziómérleg segítségével, első ízben két tömeg között tapasztalt vonzásából a Föld sűrűségét 5.48-nak találta.

A szabad esésre vonatkozólag *Giovanni Batt. Guglielmini* († 1817) végzett kísérleti tanulmányokat: az 1790—1791. években a bolognai degli Asinelli nevű ferde toronyról való esésekből kimutatta nem-

csak a keletre való előreesést, de a délre való esést is, bár ezt az utóbbi megfigyelését tévesnek magyarázták. A szabad esés törvényeinek igazolására szolgálhatott az az ejtőgép, melyet *George Atwood* (1745 - 1807) ismertetett 1784-ben.

b) Akusztika.

Az 1742-iki perui földmérések alkalmával *Charles Marie de la Condamine* (1701—1774) a hang sebességét is meghatározta és azt Quitoban 339 *m*-nek, majd pedig a melegebb Cayenneben 357 *m*-nek találta.

A húrok felhangjait *Joseph Sauveur* (1653 - 1716) tanulmányozta és a két disztonáló hang megszólalásakor hallható lüktetések számából meghatározta a hangok rezgési számát is (1700 - 1703) *Brook Taylor* (1685—1731) viszont ezt a képletet közölte 1715-ben a húr rezgési számának kiszámítására:

$$n = \sqrt{\frac{pg}{lq}},$$

hol *p* a húr feszültsége, *l* a hosszúsága, *q* a súlya és *g* a nehézségi gyorsulás.

Rendszeres akusztikát *Ernst Florens Friedrich Chladni* (1756—1827) írt, melyben az összes hangzó testekre (nemcsak a húrokra) kitért; tőle való a rezgő lemezeken keletkező hangábrák első megfigyelése (1787); a szilárd testekből készült pálcák rezgési törvényeit is ő állapította meg (1797). Végre pedig 1800 körül eszközölte kísérleteit és számításait is, a hangnak különböző gázokban való terjedési sebességére vonatkozólag és azt hidrogénben legnagyobbnak (mérés szerint 2100 - 2500, számítás szerint 3580 pár. lábnak), szénsavban pedig legkisebbnek (mérve 840, számítva 847 pár. lábnak) találta.

Hogy a hang terjedési sebessége a levegőben ennek hőmérsékletétől is függ, azt már 1746-ban *Giovanni Bianconi* (1717 - 1781) tapasztalta, ki ugyanannak az útnak megtevésénél 35 C⁰-nál 76 és — 1.5 C⁰-nál 79 ingalengést mért és így meggyőződött arról, hogy a hang sebessége a levegő nagyobb hőmérsékleténél nagyobb.

c) Hőtan.

A hőtani vizsgálatoknak nagy akadályja az a körülmény volt, hogy a hő mérésére nem állapítottak meg fix pontokat, hőmérő egységeket. *Daniel Gabriel Fahrenheit* (1686–1736) foglalkozott ily fix hőmérsékletek megállapításával: hőmérőit (melyekbe 1709 óta borszeszt, 1714-ben pedig higanyt töltött) törött jégből, vízből és szalmiákból készült keverékbe helyezte és ezt a hőmérsékletet 0-val jelölte meg; egyébképpen azt hitte, hogy ez egyszersmind a lehető legnagyobb hideg és „mesterséges fagypontra”-nak nevezte el. Azután a hőmérőt jég és víz keverékébe helyezte és ennek a hőmérsékletét (tehát a mai 0°-ot) 32°-kal jelölte meg. Végre pedig az ember vérének normális hőmérsékletét határozta meg és azt 96°-nak találta; egy 1724-ben kiadott értekezésében pedig a víz forráspontját 212°-kal állapította meg. Hőmérsékleteivel különben igen értékes felfedezéseket tett: 1721-ben felfedezte a túlűtött víz viselkedését, a víz forrására vonatkozólag pedig észrevette, hogy a forráspont a légnyomástól is függ és ennek alapján azt a gondolatát is kifejezte, hogy a hőmérőt légsúlymérésre is lehetne felhasználni. *René Antoine Ferchault de Réaumur* (1683–1757) ¹⁵ résznyire vízzel hígított borszeszt használt hőmérőjében (1730, 1731) és azon a víz tagyási hőmérsékletét 0°-nak vette, a víz forráspontját pedig 80°-kal jelölte meg, mert úgy találta, hogy az ily módon hígított borszesz a víz fagypontjától annak forráspontjáig való felmelegítésénél térfogatának $\frac{80}{1000}$ részével terjed ki és így minden fokra 1 ezredrész térfogati kiterjedés esik. *Anders Celsius* (1701–1744) 1742-ben ismét a higanyhőmérőhöz tért vissza, melyen a forráspontot 0°-kal, a jég olvadáspontját pedig 100°-kal jelölte meg; *Märten Strömer* (1707–1770) később megfordította e számokat, amivel a mai nap is szokásos jelölést megállapította.

A hőmérés ilyenmő tökéletesítése további hőtani tanulmányokat tett lehetővé. *Georg Wilhelm Richmann* (1711–1753) felállította a kalorimetriai elegytési szabály képletét:

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2};$$

viszont *Joseph Black* (1727–1799) azt tapasztalta, hogy egyenlő tömegű jég (32°F^0) és 172°F^0 -u víz összekeverésénél a hőmérséklet továbbra is 32°F^0 -ot mutatott, holott a képlet értelmében:

$$t = \frac{m_1 \cdot 32^0 + m_1 \cdot 172^0}{m_1 + m_1} = 102^0$$

lett volna; ez a tűnemény, valamint *Jean-André Deluc* (1727–1817) megfigyelése (1754), hogy a jég olvadása folyamán nem változik a hőmérséklet, a „látens meleg” fogalmára vezetett. *Johann Carl Wilke* (1732–1796) tisztázta a kérdést: kimondta, hogy Richmann-féle képlet csak egynemű és egyenlő halmazállapotú testekre vonatkozólag érvényes; megmérte továbbá egyenlő mennyiségű jég és forró víz összeöntésénél a hőveszteséget, melyet 72^0 -nak talált és végre telfedezte a testek *fajmelegét* is, melynek belevonásával a Richmann-féle képletet általánosította (1772):

$$t = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}.$$

Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794 és *Pierre Simon de Laplace* (1749–1827) a jégkalorimeterrel határozták meg a testek fajmelegét, valamint ők mérték meg pálcaalaku szilárd testek kiterjedési együtthatóját (1778).

A sugárzó hőt *Carl Wilhelm Scheele* (1742–1786) vegyész vizsgálta, aki észrevette, hogy azt csak fémtükrök verik vissza, üvegtükrök azonban nem; *Marc Auguste Pictet* (1752–1825) kísérletileg igazolta a sugárzó hőnek fémből készült gömbtükrök által való visszaverődését úgy, hogy az egyik tükrő fókuszába meleg fémgolyót helyezett, mire a szemben levő tükrő fókuszában levő hőmérő higanyszála gyorsan emelkedett.

Gyakorlati téren a gőzgép függ össze a hőtannal; *James Watt* (1736–1819) örökölte meg nevét e tekintetben, mikor a Newcomen-féle gőzgépet megjavította és 1765-ben egy teljesen új berendezésű gőzgépet szerkesztett, melynek főbb jellemző vonásai ezek voltak: a kondenzátor szereplése, a gőz két oldalról hatolt be a dugattyu hengerébe, a hajtórúd mozgása forgómozgást létesített, a lendítő kerék

pedig szabályozta a gép járását és segített a holt pontok által okozott bajokon.

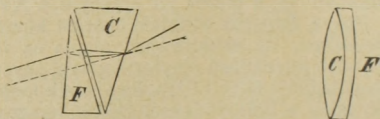
d) Fénytan.

A fénytanban is a mérés jut érvényre a XVIII. században. *Pierre Bougeur* többféle eljárást követett a fény mérésében, de mindnyájuk alapja az volt, hogy a különböző intenzitású fényforrásokkal egyenlő erősségű megvilágítást hozott létre. Egy másik mérése oda irányult, hogy a tükröződésnél előálló fénygyengülést (abszorpció) meghatározza: azt találta, hogy az fémtükröknél nagyobb, semmint üvegtükröknél és hogy az a beesési szög nagyságától is függ (kisebb beesési szögnél az abszorpció is kisebb). Bougeur továbbá a fénysugárnak átlátszó testeken való áthaladásakor származó elnyeletését is mérte; megállapította, hogy az abszorpció az átlátszó test rétegeinek vastagságával mértani haladvány szerint növekszik és hogy a fénynek a légkörön való áthaladásánál az abszorpció a beesési szögtől is függ. Fénymérési alapelveit már 1729-ben jelezte, méréseinek eredményeit pedig hátrahagyott és 1760-ban kiadott optikai főművéből ismerjük.

Ugyancsak fényméréseket végzett *Johann Heinrich Lambert* (1728 – 1777) is, ki emellett még a fotometria törvényeit is megállapította: 1. a látott világosságot megkapjuk, ha a fénymennyiséget az ideghártyán keletkezett kép által elfoglalt területtel elosztjuk; 2. különben egyenlő körülmények között valamely világító pontból kis tárgyra eső fénymennyiség a távolság négyzetével fordítottan arányos; 3. ha a megvilágított felület a ráeső fénysugarakhoz képest ferde helyzetű, a megvilágítás erőssége a merőlegesen eső sugarak világítási erősségének a sugarak hajlásszögének sinusával vett szorzatával arányos; 4. ha λ az F világító felületelem kiáramlási szöge és J a fényerőssége: az abból kiáramló fénymennyiség az $F \cdot J \cdot \sin \lambda$ kifejezéssel arányos (1760). Bougeur is, Lambert is a Nap fényerősségének a Holdéhoz való arányát törekedett meghatározni: az előbbi szerint 300,000, az utóbbi szerint 277,000 ez az arányszám.

Érdekes adat, hogy Newton mily tévedésben volt a fénytörésre és fényszórásra vonatkozólag: azt hitte, hogy a fényszórás megszüntetésével a fény-

törés megszűnése együtt jár, mely tévedésre Euler mutatott rá először (1747); *John Dollond* (1706—1761) Euler eszméjéből kiindulva megszerkesztette az első akromatikus prizmat; ez két különböző



[Dollond akromatikus prizmája. Dollond akromatikus lencségei.

színszórású prizmából állott, melyek a kilépő sugarat megtörték, de nem bontották színekre; hasonló módon állított össze akromatikus lencségeket is különböző színszórású gyűjtő- és szórólencséből. Ezek alapján 1757-ben megszerkesztette az első akromatikus távcsövet, 1758-ban pedig megjavította azt azzal, hogy három lencséből állította össze az akromatikus lencsét.

A fényelmélet körében Euler tett haladó lépést abban, hogy Newton emisszió-elméletét meggyőzően megdöntötte és az unduláció-elméletet erősítette meg azzal a magyarázó kiegészítéssel, hogy a fény hullámait az egész tért betöltő „aether” közvetíti. E hipotetikus közeg végtelen csekély sűrűségéből és viszont nagy rugalmasságából megmagyarázta a fény óriási nagy terjedési sebességét.

e) Anyagszerkezet elmélete. Természetfilozófia.

Az anyagvonzás törvényeinek megismerése után a fizikusok az egyéb vonzási erők: szilárdság, kapillaritás, mágnesség, elektromosság törvényeit is kezdték kutatni némelyek és egységes vonzási törvényt tételtek fel minden erőnél, mások észrevették a nehézségeket, melyek ily egységes törvény erőltetésénél támadtak; nevezetesen a testek szilárdságára — úgy vették észre — nem vonatkozhatik a tömegvonzási törvény, mert ha egy szilárd testet kettétörünk és a két részt ismét egymáshoz szorítjuk, az érintkező részecskék nem sokkal távolabb állanak egymástól és mégsem forr össze többé a két rész, így tehát a kohézió vonzási törvénye a négyzetesnél nagyobb

arányban változik; viszont ezzel szemben úgy lehet érvelni, hogy az eltörés előtt a részecskék tetemesen kisebb távolságban voltak egymástól annál, melyre bármily erős összeszorításnál is egymáshoz jutottak és így a kohézióra is vonatkozhatik az általános vonzási törvény. Főleg a testeket alkotó kicsiny vagy legkisebb részek és ezek vonzási törvényei érdekelték a természetkutatókat, a harc pedig leginkább e részek oszthatósága vagy nem oszthatósága körül forgott. Leibniz monádjaival szemben Euler foglalt állást 1746-ban (*Von den Elementen der Körper*), de azért még mindig nyílt kérdés maradt, vajjon a felosztást végesnek kell-e tekintenünk, holott gondolatban azt a végtelenségig tudjuk elképzelni (*Jean Antoine Nollet 1700—1770*).

Roger Jos Boscovich (1711—1787) iparkodott az anyag és részeinek vonzását egyetlen egy törvényre visszavezetni; *Philosophiae naturalis Theoria* (Bécs, 1759) című művében kifejti, hogy az anyag kiterjedés nélküli pontokból áll, melyek a végtelenül kiterjedő légüres térben akár végtelen nagy távolságra is kerülhetnek egymástól, de semmi esetre sem oly távolságra, mely matematikailag 0-val egyenlő; e pontok szerint nem csupán térbeli helyek, matematikai pontok, hanem fizikai pontok, létlenséggel és bizonyos aktív erővel felruházva, melylyel egymást vonzzák vagy taszítják. Ez az aktív erő az egész mindenségben csak egy fajtájú és csakis a fizikai pontok helyzete, távolsága szerint változnék, a taszítás és vonzás pedig eképen szabályozódnék: a legkisebb távolságokban ez az erő taszító és mint-hogy a távolság csökkenésével a taszító erő folyton növekedik (sőt, ha a távolság 0 lenne, az erő végtelen nagyra növekednék), a fizikai pontok nem juthatnak egymással érintkezésbe, a távolság bizonyos határánál a taszító erő 0-ig fogy, azontul pedig mint vonzó erő egy bizonyos távolságig növekedik, majd onnan újra 0-ig fogy és akkor ismét taszító erővé átváltozik; e változások bizonyos minimális távolságokon belül többször is ismétlődhetnek, ha azonban a távolság észrevehető méretéig növekedik, az általános tömegvonzási törvény érvényesül. Boscovich mindenesetre elérte azt, hogy a különböző halmazállapotokban nyilvánuló kohéziót, a rugalmasságot és a nehézséget be tudta illeszteni elméletébe: nagy

érdeme van abban, hogy az erők egységes voltára irányította a figyelmet, bizonyos tekintetben a XIX. század atomisztikájának első kifejtője, de azért kiinduló pontja mégis csak fikciószerű, mert nem tud megfelelni ennek a joggal felvetett kérdésnek: vajjon hogy lehet anyagi pont kiterjedés nélkül? A minimális távolságokon belül való többszörös erő-változás felvételét is többé-kevésbé önkényesnek érezzük.

f) Mágnesség.

A XVIII. század elején a földmágnességi tünetek megfigyelésében jutottak sok hasznos eredményre. *Edmund Halley* 1701-ben oly mappát készített, mely a Földfelület egyes pontjain lévő deklinációk nagyságát tüntette fel. *George Graham* (1675—1751) 1722-ben fedezte fel azt a jelenséget, hogy a deklináció naponként is változik egy bizonyos maximum és minimum határain belül; ugyanezt a jelenséget tapasztalta az inklinációnál is.

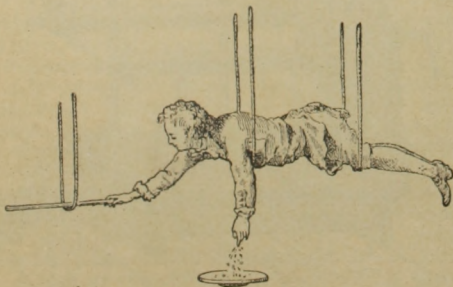
A testek mágnességére vonatkozólag keveset haladtak az ismeretek: főleg a természetes mágnesek felkutatására fordítottak nagy figyelmet és azzal *Servington Savery* egyszerű húzásu (1730), később pedig a *John Canton* (1718—1772) és *John Michell* († 1793) által egyidejűleg (1750) feltalált kettős húzásu mágneses dörzsöléssel rúd mágneseket készítettek. Az első patkómágnest *Johann Dietrich* († 1758) készítette, *Daniel Bernouilli* pedig megállapította a patkómágnes hordóképességét oly módon, hogy az a patkó felszínével és súlyának négyzetéből vont köbgyökével arányos.

A mágnesség elméleti magyarázatát *Franz Aepinus* (1724—1802) iparkodott megadni (1759), aki mágneses fluidumot vett fel, melyet a „természetes“ állapotban levő testek bizonyos relatív mennyiségben tartalmaznak; ha azonban ez a mennyiség megnagyobbodik vagy megkevesbedik (esetleg egészen eltávolodik) akkor az északi, illetőleg déli mágnesség jelensége lép fel. A mágnesek különnevű sarkainak vonzását azzal magyarázta, hogy a „természetes“ állapot akar létrejönni; az egynemű sarkok taszításának magyarázatával azonban már adós maradt Aepinus elmélete. *Robert Symmer* († 1763) ugyancsak 1759-ben már kétféle

mágneses fluidumot vett fel. *Charles Augustin Coulomb* (1736–1806) úgy képzelte, hogy minden mágnes végtelen sok kis mágnesből van összetéve, melynek mindegyike északi és déli mágneses folyadékot tartalmaz; nem mágneses testben a kétféle folyadék rendezetlen összeviasságban van: a mágnesezés pedig éppen abban áll, hogy a mágneses folyadékokat egymástól elválasztja és azokat elrendezi. A mágneses sarkok kölcsönös hatására és ennek törvényére vonatkozó munkálatait Coulomb 1785–1789 között tette közzé. Az összes, e korbeli mágneses elméletek már mind az elektromosságra vonatkozó elméletekkel állanak kapcsolatban.

g) *Elektromosság.*

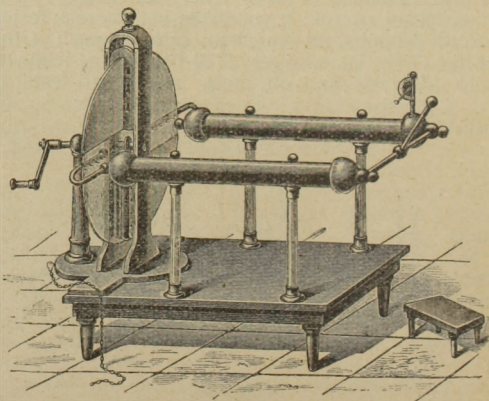
Guericke bámulatba ejtő elektromos kísérletei mind több és több kutatót vonzottak e természeti erő felé. Az 1705-ben elhalt *Francis Hawksbee* hátrahagyott művei sok elektromossági kísérletről tettek tanúságot, mint: az elektromos szikráról, az elektromosságnak légritkított térben való villogásáról, stb. Hawksbee észrevette, hogy nedves levegőben sikertelenek maradnak az elektromos kísérletek és hogy a fémekből nem lehet dörzsöléssel elektromosságot nyerni; a vezető és nem vezető testek közötti különbséget azonban csak *Stephen Gray* (1670–1736) ismerte fel 1729-ben. Nagy feltűnést keltő kísérlete az volt, hogy az emberi testet is



Gray kísérlete.

belevonta tanulmányai körébe és kimutatta annak jó vezető voltát, amikor rossz vezetőre (hajfonatokra) felfüggesztette vagy szigetelő (gyanta) zsámolyra állította. *Charles François Dufay* (1698—1739) még úgy hitte, hogy csak a nem vezetők villamosíthatók dörzsöléssel, viszont azt a fontos felfedezést tette, hogy kétféle (üveg- és gyanta) elektromosság van és megállapította az egyneműek taszítását, a külön-neműek vonzását.

Sokféle dörzsölési villamos gépet is szerkesztettek, de mindannyival az az alkalmatlanság járt, hogy a kézzel kellett az illető forgó rosszvezető testet dörzsölni. Az első villamos gépet, melynél a dörzsölést gyapju vagy bőr végezte, *Johann Heinrich Winkler* (1703—1770) szerkesztette Lipcsében 1744-ben. Nagyobb hatást ért el *John Canton* (1718—1772), aki önfoncsorral kente be a dörzsölő párnákat (1753). A szívó fésűt *Benjamin Wilson* (1708—1788) alkalmazta 1746 körül. Az eddigi villamos gépeknél üveghengert használtak; 1755, esetleg 1764 óta üveghorogot dörzsöltetnek a párnákkal: 1766-ban már igen tökéletes villamos gépet szerkesztett az addig ismert összes előnyök igénybevételével *Jesse Ramsden* (1735—1800).



Ramsden villamos gépe.

A leydeni palack eredete az *Ewald Georg von Kleist* († 1748) és *Pieter van Musschenbroek* (1692—1761) meg *Cunaeus* kísérletezéseiből (1745, 1746) nyert tapasztalatokra vezethető vissza. A leydeni palack tökéletesítése, belőle való batteriák összeállítása és kapacitásának mérésbeli meghatározása volt a következő évek munkája.

William Watson (1715–1787) 1748-ban és *Guillaume Le Monnier* (1717–1799) a villamosság sebességének meghatározására végeztek kísérleteket, de — noha az előbbi $31\frac{1}{2}$ km hosszú drótokat használt — eredményt nem értek el.

A különböző elektroszkopok és elektrometerek szerkesztése és tökéletesítése a XVIII. század 50-es, 60-as és 70-es éveibe esik.

Az elméleti magyarázatok terén is nagy élénkség mutatkozik a XVIII. század közepe táján: főleg az elektromos influenza tüneténye körül fordulnak a magyarázatok. *Benjamin Franklin* (1706–1790) már 1747-ben fejt ki elektromossági elméletét, mely szerint minden testben bizonyos mennyiségű elektromos anyag van; ha ez az anyag bizonyos normális mennyiségben van, a testek nem mutatnak villamos tünetényeket, ha azonban ezen fölül vagy alul van, akkor előállnak az elektromos jelenségek, melyeket specializálva így magyarázott: ha két testben a villamos anyag többlete vagy hiánya áll (lő, a taszítás, ha pedig az egyikben többlet, a másikban hiány áll be, a vonzás tüneténye mutatkozik. *Canton* úgy magyarázta az elektromos influenciát, hogy az elektromos anyag a testekből kiáramlik és azokat bizonyos távolságig körülveszi, beburkolja: „elektromos atmoszférát” alkot körülöttük (1754). *Aepinus* is még egy elektromos anyagot vesz fel, melynek „elektromos hatásköre” van. *Symmer* a kétféle elektromos folyadék elméletét teszi népszerűvé (1759). Sok fizikus abban bizakodott, hogy a *Lichtenberg*-féle ábrák tüneténye (1777) dönti el az egy vagy két folyadék felvételének helyességét, de reményük meghiusult. Ez ábrák felfedezője: *Georg Christoph Lichtenberg* (1744–1799) a „pozitív” és negatív elektromosság” elnevezését hozta be.

A légköri villamosságot, nevezetesen a villámot is beható tanulmányok tárgyává tették. *Franklin* 1750-ben jelölte meg a villámhárító szerkezetét;

Franciaországban 1752-ben mutatták ki kb. 30 m magas vasrudak segítségével azt, hogy a villám elektromos tűnemény, aminek már 1746-ban adtak többen kifejezést. Ugyancsak 1752-ben mutatta ki Franklin a légköri villamosságot egy sárkány segítségével. Az első villámhárítót Európában *Procopius Diwisch* plébános († 1765) állította fel Znaim közeliében 1754-ben. 1752-ben *Guillaume Le Monnier* (1717–1799) felfedezte, hogy a levegő nemcsak zivatarban elektromos, *Giovanni Batt. Beccaria* (1716–1781) pedig 1753–1773 között a zivatar elméletét fejtegette ki, mely szerint a Fölelektromosság többlete megy át a felhőkbe.

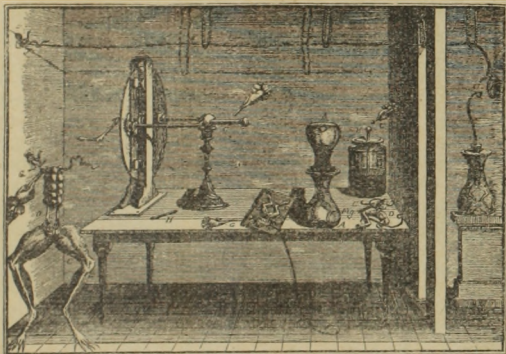
Az elektromosság fiziológiai hatása is nagyban érdekelte a legszélesebb köröket és a gyógyítás terén is a titokzatos új erőnek a legfantasztikusabb hatásokat tulajdonították. Áldozata is támadt a tudományos kísérletezésnek *Richmann* személyében, akit 1753. aug. 6-ikán zivatar alkalmával egy szigetelt villámhárítóból kiugró szikra megölt.

Coulomb a torzió-mérleg segítségével meghatározta 1788-ban az elektromosság alapvető törvényét: az erő, mellyel két elektromos test egymásra hat, arányos az elektromos mennyiségekkel és fordítva arányos a távolság négyzetével. *Coulomb* egyszersmind azt is kimutatta kísérletileg, hogy az elektromosság a testek felszínén foglal helyet.

Végre pedig észrevették azt is, hogy az elektromosság bizonyos kémiai hatásokat is gyakorol. 1789-ben pl. már a vizet bontották fel egy batteriától származó sokszoros kisülések alkalmával. 1801-ben pedig rézgálicoldaton átmenő szikrákkal rezeset választottak ki a negatív elektródon.

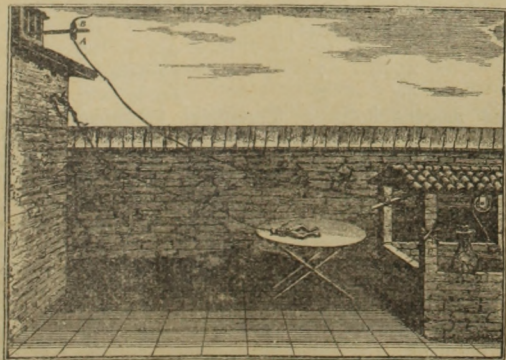
A galvanizmus.

A leghatalmasabb lépés a fizikában a XVIII. század utolsó tizedében történt. Fiziológiai kísérletezés közben újszerű jelenséget észlelt *Aloisio Galvani* (1737–1798) Bolognában talán már a nyolcvanas években és arról 1791-ben adott számot *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* című iratában. A jelenség eléggé ismeretes: sokkal érdekesebb az irat eredeti szövege: „Békát boncoltam és a 2. ábrában (alul balra), az I. táblán látható



Galvani kísérletei.

módon elkészítettem; mindenféle mással foglalkozva, az asztalra tettem, melyen a konduktorától meg-
 lehetősen messze álló elektromozó gép volt elhelyezve.
 Midőn segédkezőim egyike a késpenge csúcsát
 véletlenül a béka belső combidegihez *DD* érintette,



A békacombok a villámhárítóval való összeköttetésben.

az ízületeken valamennyi izom annyira összehúzódni látszott, mintha heves tonikus görcsök lepték volna meg. A segédkezők másika azonban azt vélte észrevenni, hogy ez csak akkor történik, ha a konduktorból szikra tör elő. Bámulva az új jelenségen, engem tett arra figyelmessé. Galvani, miután a kísérletet számos változatban megismételte (villámhárítóval, valamint emberi és állati testekből álló, továbbá fémes vezetőkkel kötötte össze a békacombokat), de megmaradt abban a meggyőződésben, hogy a jelenségek oka az állati elektromosság. A dolog nyitját *Alessandro Volta* (1745–1827), a gyantaelektrofór és a kondenzációs elektroszkóp feltalálója, találta meg, aki arra irányította figyelmét, hogy a jelenség főleg akkor mutatkozik erősen, mikor kétféle fémből áll a vezeték az izom és ideg között. 1795-ben ki is fejtette, hogy itt újfajta elektromos tűneményről, az érintési villamosságról van szó. Az előző kísérletek abban állottak, hogy kétféle fémdarab közé tartotta nyelvét, mire savanykás ízt, majd pedig, mikor a vezető dróttal összekötött fémdarabokat felcserélte, lugos ízt észlelt; továbbá zink- és vörösrézlemezek közé nedves papíroslapot helyezett és a két fémlemez vezető összeköttetésekor szintén elektromosságot mutatott ki. Igazán tudományos módszerrel végzett kísérleteiből nemsokára a feszültségi számok sorozatát határozta meg a következő értékekkel:

cink	12	vas	3
ólom	7	vörösréz	1
ón	6	ezüst	0

és megállapította a feszültségi különbség törvényét, hogy pl egy cink-vörösréz-ólom-ón láncolatban a cink és ón közötti feszültségi különbség éppen úgy 6, mint közvetlenül a cink-ón kapcsolatban. 1800-ban állította össze a nevére ismert, 20–30 cink- és ezüstkorongokból álló oszlopot, melyet „mesterséges elektromos szerv”-nek mondott; a Volta-oszlopból származó áramot pedig tudományos nobilitással „galván”-áramnak nevezte el. De ugyanekkor írta le Volta edényapparátusát is, amivel megadta a galvánelemek és az azokból összeállítható telepek gondolatát. Üvegedények sorozatát állította ugyanis össze, melyeket meleg vízzel vagy sóoldattal megtöltött és minden edénybe egy-egy cink- és ezüst-



Volta edényapparátusa.

lemezt állított be úgy, hogy azok ne érintkezzenek, a lemezeket pedig láncolatosan kapcsolta össze egymással.

Fontos következményekkel járó megfigyelést tett ugyancsak még 1800-ban *Anthony Carlisle* (1768 – 1840) és *William Nicholson* (1753 – 1815), amikor egy Volta-féle oszloppal kísérletezve Carlisle a felső cinklemezre a vezető dróttal való biztosabb érintkezés céljából vízcsöppet ejtett, melyből gáz fejlődött, mire a galvánáramot közvetlenül vízbe vezették és meggyőződtek arról, hogy az a vizet felbontja, éppen úgy, mint a dörzsölési elektromosság. Ezentúl nagyon sokan foglalkoztak a galvánáram kémiai hatásaival és nemsokára jelentékeny eredményeket értek el az elektrolízis terén. *Paul Louis Simon* (1767 – 1815) már 1801-ben a vízbontásnál keletkezett durranógázmennyiséget használta fel a különböző galvánáramforrások „hatáserősségének” meghatározására. Az elektrolitikai tűnemények magyarázatát *Theodor von Grothuss* (1785 – 1822) 1805-ben adta meg, mely magyarázat szerint a vízen áthaladó galvánáram hatása alatt a víz molekulái úgy helyezkednek el, hogy az oxigénatomok a pozitív, a hidrogénatomok pedig a negatív sark felé fordulnak, a pozitív sark magához ragadja a vele érintkező oxigénatomot, mire az e molekulából szabaddá lett hidrogénatomok a szomszédos molekula oxigénatomjával vegyülnek új vízmolekulává és így folytatódik végig e folyamat; az újonnan keletkezett molekulák ismét elrendeződnek az előbb említett módon és a felbontás újra ismétlődik.

Az elektrolízis természetesen nagy lökést adott az elektrokémiai elméletek kidolgozására, melyben a XIX század első tizedében főleg *Humphry Davy* (1778 – 1829) és *Jöns Jacob Berzelius* (1779 – 1848) vettek részt.

Közben mindjobban megerősödött az a meggyőződés, hogy a dörzsölési villamosság és a gal-

vanizmus identikus tűnemények és az e téren végzett kísérletek is azt igazolták, hogy a dörzsölési villamosság összes hatásai a galvánáram segítségével is létesíthetők, mint könnyű testek vonzása és taszítása, az elektromos szikra, fémdrótok felmelegedése, izzása és olvadása, széncsúcsok izzása (Davy, 1812).

A galvánáramnak a mágnessé kitérítő hatását már 1804-ben vették észre *Giuseppe Mojon* (1772 - 1837) és *Gian Domenico Romagnosi* (1761 - 1835), de a tűneményt a tudományos világ nem érdemesítette nagyobb figyelemre. Csak *Hans Christian Oersted* (1777 - 1851) kísérletei, melyeket 1820-ban végzett, keltettek szélesebbkörű érdeklődést; eleinte azt hitte, hogy csak a vezető drót izzása alkalmával áll elő a tűnemény, de *Georg Wilhelm Muncke* (1772 - 1847) helyreigazítása után már gyenge áramokkal is kimutatta a mágnessé kitérését, valamint azt is, hogy a szilárdan elhelyezett mágnes viszont az áramot kitéríti, ha ennek vezetőke szabadon mozoghat. *Dominique François Arago* (1786 - 1853) ugyancsak 1820-ban kimutatta a galvánáram egyéb mágneses tűneményeit is, hogy a vezetődrót maga is mágnesképpen szerepel, habár nem is vasból, hanem vörösréz-ből, platinából, stb. való; *Christoph Schweigger* (1779 - 1857) pedig feltalálta a multiplikátort gyenge áramok hatásának fokozására és *Johann Christian Poggendorff* (1796 - 1877) megadta a készüléknek mai nap is használatos alakját (galvanometer).

A galvánáramnak a mágnessére gyakorolt hatást *Jean Bapt. Biot* (1774 - 1862) és *Felix Savart* (1791 - 1841) fejezték ki matematikai alakban kísérleti alapon 1820-ban, *André Marie Ampère* (1775 - 1836) pedig ugyanebben az évben tette közzé ismeretes „úszási szabályát” és mondta ki, hogy az egyenlő irányú áramok vonzzák, az ellenkező irányúak pedig taszítják egymást; ő állapította meg az elektrosztatika és az elektrodinamika tudományos terét és 1822-ben ő mutatta be a szolenoidot, melynek alapján kifejtette a molekuláris áramok elméletét, mely azonban egyelőre nem nagy tetszésre talált, minthogy elejtette a „mágneses fluidumok” akkor igen népszerű hipotézisét. *Michael Faraday* (1791 - 1867) 1821-ben kimutatta, hogy szilárd mágnes körül mozgatható vezeték, viszont szilárd vezeték körül mozgatható mágnes forgásba kerül.

1821-ben *Thomas Joh. Seebeck* (1770–1831) a hőelektromosságot fedezte fel, melyet azonban még lényegében fel nem ismerve, csak hatása alapján „thermomagnetizmus“-nak nevezett; észrevette, hogy a hatás a fémek mineműségétől és a hőmérsékletkülönbségtől függ; a földmágnességet is a thermomagnetizmus alapján magyarázta. Az új tűneménynek elektromossági mibenlétét *Oersted* és *Fourier* ismerték fel, akik annak nemcsak mágnességi, hanem kémiai hatását is belevonták megfigyeléseik körébe *Jean Charles Anathase Peltier* (1785–1845) 1834-ben kimutatta, hogy az elektromos áram két fémforrasztási helyen viszont hőkülönbséget, tehát az egyiken hőemelkedést, a másikon hőcsökkenést hoz létre; *Heinr. Friedr. Emil Lenz* (1804–1865) pedig oly nagy hőkülönbséget tudott előállítani, hogy vizet is fagyasztott (1838).

Egyes tudósok a tűnemények tanulmányozása mellett mérésbeli módszerek megismerésére és alkalmazására is törekedtek, hogy a hatások nagyságbeli viszonyai is meghatározhatók legyenek. *Davy* mári 1821-ben megfigyelte, hogy kémiai hatásoknál az áram bizonyos ellenállást fejt ki, melynek nagysága az illető vezeték fémétől függ és különben a drót hosszával egyenes, keresztmetszetével pedig fordított arányban áll. *Georg Simon Ohm* (1787–1854) 1825-ben megadta a fémeknek vezető képességükre vonatkozó sorozatát, 1826-ban pedig már kimondta megfigyelései alapján az elektromotoros erő, intenzitás és ellenállás közötti összefüggést a nevről ismeretes törvény alakjában, melynek matematikai kifejezése ez volt:

$$X = \frac{a}{b + x},$$

„hol X a mágneses hatás erejét azokon a vezetőkön, melyeknek hossza x , a és b pedig állandó, a gerjesztő erőtől és a lánc többi részének vezető képességétől függő nagyságokat jelentenek“. 1827-ben pedig elméletileg vezette le ezt a törvényt, amikor is az elektromos áramot folyadék áramának képzei és ennek áramlási sebességével és esésével érzékíti, magyarázza; tekintetbe veszi a külső (l) és belső ellenállást (ω) és megállapítja ezt az összefüggést:

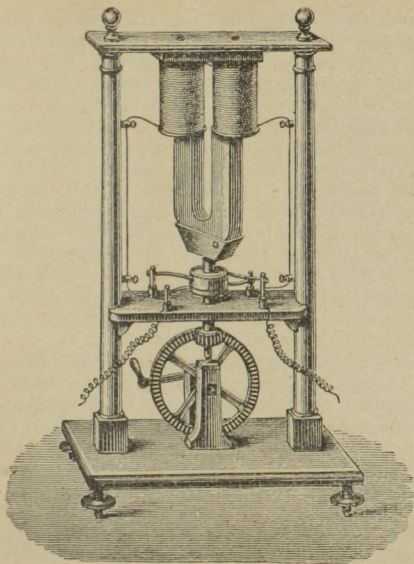
$$i = \frac{e}{\omega + l}.$$

A legnagyobb horderejű következményekkel az indukció felfedezése járt, mely első sorban *Faraday* nevéhez fűződik. Minthogy a dörzsölési villamosság és a galvanizmus indentitása valónak bizonyult, *Ampère* kifejezte azt a gondolatát, hogy a dörzsölési villamosságnál mutatkozó influencia tünetényének a galvánáramnál is kell mutatkoznia. Faraday is ebben a meggyőződésben volt és ennek kimutatására kísérleteket eszközölt olyformán, hogy fahengerre két szomszédos szigetelt drótvezetékét csavart, melyek közül az egyikben galvánáram folyt, a másikba pedig galvanometert kapcsolt be. De bármily erős is volt a galvánáram, a galvanometer nem mutatott kitérést; csak később, mikor az áramot nyitotta és zárta, vette észre, hogy a galvanometer tűje igenis kitér. Ezek után csakhamar sikerült az összes elektromos indukcióbeli tünetények törvényeit megállapítania, hogy ugyanis az áram zárásánál és erősítésénél a főárammal ellentétes, viszont nyitásánál és gyengítésénél vele egyirányú mellékáram keletkezik (1831); Faraday ezt a tünetényt *Voltaindukciónak* nevezte el. Ezek után a legtermészetesebb lépés az volt, hogy a mágneses indukciót is kimutatta. Az összes indukciós tünetények törvényét pedig kifejezi a *Lenz-féle törvény* (1834), mely szerint az indukált áram mindig annak a mozgásnak ellenáll, mely az indukció okozója volt.

Ily módon mindjobban kialakult az elektromosság és a mechanikai erő közötti reciprocitás gondolata, valamint az elektromosságnak mechanikai munka által való fejlesztésére irányuló törekvés. Ennek eredményei a különböző indukciós gépek, melyeknek szerkesztésében *Salvatore dal Negro* (1768 - 1839) és *Pixii*, javításában pedig *Ritchie*, *Clarke*, *Saxton* és mások vettek részt a XIX. század harmincas éveiben. 1838-ban *Moritz Herm Jacobi* (1801 - 1874) egy tizenkét személylyel megterhelt csónakot hajtatott a Néván elektromotoros géppel.

A kommutátor elvének feltalálója *Ampère*, gyakorlati alkalmazói pedig *Clarke*, *Saxton*, *Stöhrer* és mások voltak.

Faraday a galvánáram vegyi hatásait is tanulmányozta és megállapította az elektrolitikus alaptörvényt (1834), hogy egyenlő mennyiségű elektromosság a különböző elektrolitekből *equivalens* mennyiség-



Pixii indukciós gépe.

geket választ ki; az elektrolitikus készüléket, melyet e kísérleteknél használt, Volta-elektrometernek, rövidebben voltameternek nevezte; ugyancsak tőle erednek az elektrolízis, elektrolitek, anód, katód, ionok, anion, kation elnevezések.

Az elektrokémiai ismeretek bővülése a különböző galvánelemek összeállítását vonta maga után, melyek közül a Becquerel-féle (1829), a Daniell-féle (1836) és a Grove-féle elem említhető meg.

Az elméleti téren is nagy munkásságot fejtett ki Faraday: a sztatikai villamosság influenciája arra a meggyőződésre vezette őt, hogy „*actio in distans*” nem lehet az elektromos hatás, hanem oly távolba való hatás, melyet valamely médium, szubsztancia: *dielektrikum* közvetít. Az elektromosság kisülését is

a dialektrikumtól függőnek ismerte fel és minden elektromos vezetést a testek szomszédos részei között végbemenő kisülésnek tartotta, mely egyes testekben gyorsan, másokban lassan történik és eszerint osztályozódnak a testek vezetőkre és szigetelőkre. Faraday még a mágnesség erőhatásait is behatóan tanulmányozta és tanulmányaiból azt vonta le, hogy semmiféle erő sem hat közvetlenül a távolba, továbbá pedig, hogy az összes természeti erők egymásba változtathatók át és alapjában véve csak egyetlen egy erőnek formái. Ő hozta be az erővonalok és niveau-elületek fogalmát, melyeket néha csak mint szerkesztési segédeszközöket, megérzőítő szimbolumokat használ, a mágneses és elektromos erőhatásokban azonban reálisan létezőeknek vesz fel. Minthogy pedig az erő az egész téren át működik, az erővonalaknak is teljesen be kell tölteniök a teret és így az erővonalok reális létezése a térnek folytonosságban való betöltöttségét vonja maga után. Ezért még az atomelmélettel szemben is bizonyos kriticismusnak ad helyet és a folytonos térnek bizonyos anyagiságáig jut el. A természeti erők egységének végkövetkeztetését pedig 1839-ben már így fejezi ki, szinte látnoki szemmel a fizikai tudomány jövőjébe tekintve: „A jövőben képesek lehetünk, korpuszkuláris erőket, mint a nehézségét, a kohézióét, az elektromosságot és a vegyi rokonságokét egymással összehasonlítani és ezen vagy más módon relativ equivalenceiket és hatásaikat levezetni; mostanában nem bírjuk ezt.”

Az elektrolízis gyakorlati téren talált nemsokára alkalmazást a galvanoplasztikában. *John Frederic Daniell* (1790 – 1845) észrevette, hogy elemének rézsarkáról a ráakódott vörösréz egészében leválasztható és ezzel az elektródnak hű, negatív másolatát nyújtja. 1837-ben ezt a gondolatot egymástól függetlenül ketten is értékesítették gyakorlatilag: *Jacobi* és *Spencer*.

Az elektromágnesség *Sam. Morse* (1791 – 1872) használta a telegrafálás céljára 1840-ben; 1844-ben működött az első Morse-berendezésű telegráf-vonal Washington és Baltimore között. Az ú. n. tütelegráfot azonban már *Charles Wheatstone* (1802 – 1880) használta 1837-ben az angol vasutakon. A telegrafálás gondolata már a XVIII. század közepéről való, mely

idő óta a dörzsölési elektromosság, 1809 óta pedig a galvánáram különböző hatásait használták fel jeladásra.

A XIX. század.

Az elektromos áramok felfedezése és tanulmányozása oly szorosan összefüggő, folytonos munkásságot eredményezett, hogy a tudományos munkásságnak ez a periodusa adja a legegységesebb áttekintést a XVIII. és XIX. századot összekötő kb. 60 év fizikai történetének egy részéről. A fizika többi ágában nem volt a munkásság ennyire kapcsolatos és oly centrális, úgy hogy itt ismét az évszázad keretében nyújthatunk áttekinthetőbb képet.

a) *Mekanika.*

A mechanikában is élénk kísérletezés támogatta az elméleti tanulmányozást. A XIX. század kezdete előtt főleg a nehézségi problémák kísérleti igazolása és illusztrálása foglalkoztatta a fizikusokat. Közülük *Giovanni Batt. Guglielmini* († 1817) említendő meg, aki 1790–1791-ben az egyik bolognai ferde tornyon kimutatta az eső testnek keletre való eltérését, sőt felfedezte a délre való esést is. *Joh. Friedrich Benzenberg* (1777–1846) 1802-ben és 1804-ben Németországban ugyancsak e két kitérést tapasztalta és mérte, de sajátságosképen a legtöbb fizikus a déli kitérést hibás megfigyelésnek vagy mellékkörülmények eredményének jelentette ki. — A másodperc- inga pontos meghatározását tűzték ki célul *Joh. Gottl. Friedrich Bohnenberger* (1765–1831) kísérletei a reverzió-ingával (1811) és *Friedrich Wilh. Bessel* (1784–1846) ingamegfigyelései (1826 ; *Bessel* továbbá 1839-ben kimutatta, hogy a nehézségi gyorsulás a különböző testekre ugyanaz, amely célra fémekből, üvegből, elefántcsontból és egyéb anyagokból készítette ingáihoz a golyókat.

A mechanikai alapfogalmak közül az optika terén nagyjelentőségű munkásságot kifejtő *Thomas Young* (1773–1819) használta először a *munka* elnevezést és megállapította a munka és az „eleven erő” arányosságát 1807-ben, valamint ugyanekkor határozta meg a rugalmassági együttható pontos definícióját. A rugalmassági utóhatást *Wilhelm Weber* (1804–1891) figyelte meg selyemszálakon 1835-ben.

A hidrosztatikában *Joseph Brahma* (1749—1814) hidraulikus sajtója számít fontosabb találmánynak (1796), általánosabb ismertetésben és elterjedésben azonban csak 1820 körül lett része.

A viznek, bár igen csekélyfokú összenyomhatóságát *Oersted* mutatta ki 1822-ben. *Thomas Graham* (1805 - 1869) viszont a diffúzió jelenségét tanulmányozta behatóan 1850 körül a különböző fajsúlyú folyadékoknál, ezt megelőzően pedig *René Dutrochet* (1776—1847) a hártyákon való folyadék átömlést, az ozmózist figyelte meg; tőle ered az endozmózis és exozmózis elnevezése (1828).

John Dalton (1766—1844) mutatta meg a gázok diffúzióját 1807-ben, ameddig az volt az általános hiedelem, hogy különböző nyomású és fajsúlyú gázok rétegszerűen helyezkednek el. *Graham* pedig 1830 körül a gázoknak „nem szabad diffúziójáról” győződött meg, aminek a diafragmán való diffúziót nevezte. *Robert Wilh. Bunsen* (1811—1899) ugyanezt a jelenséget 1857-ben tanulmányozta, majd a gázok sűrűségét a gázok kiömlési sebességéből határozta meg, 1883-ban pedig a gázoknak szilárd vagy cseppfolyós testek által való elnyelését vizsgálta.

A mechanikának elméleti kiépítése is folytatódott a XIX. században. *Louis Poincaré* (1777—1859) *Éléments de statique* című művében (1804) a szintetikus módszert fejleszti ki a mechanika elméleti tárgyalásaiban és az erő mellett az erőpárt teszi meg az összes erőhatások alapelemeivé. Az analitikai módszert viszont *Karl Friedr. Gauss* (1777—1855) fejlesztette tovább és új mechanikai elvet fogalmazott meg: bármely módon egymással összekötött anyagi pontok (melyeknek mozgásai bármily külső korlátozásoktól függnék) rendszerének mozgása minden pillanatban a szabad mozgással való lehető legnagyobb összeegyeztetésben vagy a lehető legkisebb kényszer alatt megy végbe; mindenesetre feltűnő, hogy Gauss elvében éppen a matematikai kifejezés hiányzik. *William Rowan Hamilton* (1805—1865) a Maupertuis-féle legkisebb hatás elvét „stacionárius hatás”-nak nevezte, melyet így magyarázott: minden tömegrendszernek valamely meghatározott kezdeti helyzetből egy másik meghatározott helyzetbe kényszer nélkül való mozgásánál a hatás szükségszerűen stacionárius (variációja eltűnik), ha a rendszer belső erői konzervatívok; továbbá felállított egy másik elvet ily

alakban: a *variáció hatás* elve meghatározza a belső erők variációját, ha a szabad mozgás kezdet- és végpontja, valamint az erők munkája változó (1834). Hamilton ugyanekkor az *erőfunkció* fogalmát vezette be, ugyanazt a függvényt, melyet már 1828-ban *George Green* (1793–1841) *potenciálfunkciónak* nevezett; általánosan azonban csak *Gauss* példájára használták, ki a távolság négyzetével fordítottan arányos összes erők alapfüggvényévé tette azt és röviden *potenciálnak* mondotta (1840). A potenciál annál hasznosabb fogalomnak bizonyult, mert kitűnt, hogy nem tisztán matematikai jelentőségű, hanem a mechanikai munkával, tehát fontos fizikai alapfogalommal áll kapcsolatban.

b) Akusztika.

A fizika ez ágának elméleti vizsgálatai az általánosabb hullámelmélet keretében folytak, azonban sok kísérleti kutatás eredménye is gazdagította az akusztikai ismereteket.

Elsősorban a hang terjedési sebességére vonatkozó kísérleti és elméleti kutatás fontosabb jelentőségű. *Chladni* a XIX. század elején meghatározta a hang sebességét különböző gázokban kísérleti és elméleti uton, de oly nagyarányú eltéréseket kapott, hogy ezek már nem voltak mérésbeli pontatlanságoknak minősíthetők. A rejtélyt megoldta *Laplace* 1816-ban, amikor egyszersmind a *Newton* által nyert eredményt is helyesbitette a következő módon: „a hang sebessége egyenlő annak a sebességnek, melyet a Newton-féle képlet ad, meg a levegő állandó nyomás melletti fajhője és az állandó térfogat melletti fajhője közötti hányados négyzetgyökének szorzatával”, azonban jó ideig nagy ellenkezéssel találkozott. A hang sebességének meghatározása szilárd és cseppfolyós testekben is több fizikust foglalkoztatott a XVIII. és XIX. századot összekapcsoló években. A hangnak vízben való sebességét *Jean Daniel Colladon* (1802–1893) és *Jacob Carl Fr. Sturm* (1803–1855) határozták meg 1827-ben a genfi tavon és azt 1435 *m*-nek találták, *Henri Victor Regnault* (1810–1878) pedig 1868-ban a párisi víz- és gázvezeték csöveiben mérte meg a hangnak levegőbeli terjedési sebességét 331·37 és 330·7 *m*-nyi értékkel. Ugyancsak a 60-as években *August Kundt* (1839–1894) a hang-

ábrák csomópontjai alapján határozta meg a hang sebességét szilárd testekben. *Szathmári Ákos* (*1855) 1877-ben 331 57 *m*-nyi eredményt kapott a hangnak 0^o-ú, száraz levegőben való terjedési sebességére.

A hangok rezgésszámának meghatározására *Charles Cagniard-Latour* (1777–1859) a szirénát szerkesztette meg 1819-ben. *Ludwig Fr. W. Aug. Seebeck* (1805–1849) megjavította a szirénát, melyet ajánlatára szélesebb körökben kezdtek alkalmazni. *Savart* a hang hallhatóságának határait fürkészte (1830) és ezeket 14–16-nak meg 48.000 nek találta. *Wilhelm Weber* ugyancsak 1830-ban a rezgésszámlálást grafikailag végezte, amennyiben egy hangvilla rezgéseit kormozott üvegre iratta; *Jean Marie Const. Duhamel* (1797–1872) 1842-ben kormozott forgó hengert alkalmazott. *E. L. Scott* 1859-ben vékony hártyák rezgéseit fémhegy segítségével forgó hengerre iratta (membranofon, fonautograf); *Rudolf König* (*1832) az ú. n. manometrikus lángokat alkalmazta 1865-ben, melyeknek képét forgó tükörben szemlélte. A legtökéletesebb hangíró eszköz *Thomas Alva Edison* (*1847) fonográfja (1877), mely nemcsak írja, hanem vissza is adja a hangot.

Rendkívül széleskörű érdeklődést keltett *Hermann von Helmholtz* (1821–1894) *Die Lehre von den Tonempfindungen* című művével (1863), aminek magyarázata abban rejlik, hogy ez a mű nemcsak fizikai, hanem fiziológiai és zenei vonatkozásaiban is foglalkozik az akusztikával. Miután zörejt és zenei hangot (*Geräusch und Klang*) különböztet meg, ez utóbbit a hangmagassággal, hangerősséggel és hangszínezettel jellemzi; különösen megfigyelte az ú. n. felhangokat, melyek viszont a hangszínezet okai és e kutatásaiban általa szerkesztett különböző rezonátorokat használt; nagyon érdekes a különböző hangszerek hangjának elemzése és jellemzése a felhangok kombinációja szerint. Még nagyobb érdeklődés mutatkozott a vokális hangok összetevése és elemzése iránt, mely tanulmányozásában sikerült különböző hangok kombinációs együttzöngése által egyes magánhangzók (u, o, a, e) megszólalását elérnie; ez utóbbi jelenségekre az emberi beszéddel kapcsolatban is volt figyelemmel. Helmholtz művének további fejezeteiben több hang együttzöngésének jelenségeivel foglalkozik és éles különbséget tesz az itt mutat-

kozó lüktetések és kombinációs hangok között; ez utóbbiakat ismét a már ismert különbözeti és az általa felfedezett összegezési hangokra (Summations-töne, osztja fel.

c) Hőtan.

A XIX. század tudósainak nagy kérdés maradt örökségül az előbbi századból: a hő mibenlétének kérdése. A régi tan ez volt: a hő anyag, valami fajta egyszerű, elemi, expanzív folyadék, mely a testeket betölti, átítatja, de különben minden más anyagtól különböző és csak a fény anyagával áll bizonyos kapcsolatban. Annyira anyagnak tekintették a hőt, hogy még a súlytalanságát sem tételezték fel és egészen komolyan arra törekedtek, hogy a súlyát is meghatározzák. Az erre törekvő kísérletek a legellentétesebb eredményekkel jártak: egyesek a meleg, mások a hideg testet találták — nehezebbnek! *Benjamin Thompson, Rumford grófja* (1753–1814) jelentette ki határozottan, hogy a testek súlya nem változik a hőváltozás alkalmával (1799). Így egy időre az imponderabiliák közé helyezték a hőt. Ugyancsak Rumford gróf nagy érdeme, hogy fémfuratást végeztetett vízben, minek folyamán a víz folyton felmelegedett, sőt $2\frac{1}{2}$ óra múlva forrt is és ebből azt mutatta ki, hogy valamely test határtalan mennyiségben szolgáltathat hőt és így a hő nem lehet anyag, hanem a hőjelenségeket mozgási jelenségeknek kell tekinteni. *Davy* ugyancsak 1799-ben két jéghasábot dörzsöltetett egymáshoz, melyek olvadozni kezdtek, hogy pedig hatástalanná tegye azt az ellenvetést, hogy az olvadást okozó hőt a levegő szolgáltatja, a kísérletet légüres térben eszközölte (a dörzsölést óramű által végeztette) hasonló eredményeket elérve. 1812-ben pedig már kifejtette vibrációs elméletét a hőről, mely szerint az anyag részecskéi között szabad tereket vesz fel és e részecskéket a hőállapotnak megfelelő mozgásban gondolja. *Rumford* a sugárzó hő felé is irányította figyelmét, de innen kevésbé meggyőző eredményeket és következtetéseket tudott levonni, mert hiszen a fényt is kilövelt anyagnak tekintették szívesebben, semmint rezgésnek. Több más fizikus kutatása is a sugárzó hő és a fény közötti összefüggés megismerésére irányult, anélkül, hogy a hő mibenlétének meghatározását elősegítette volna.

A XIX. század legelső éveiben érdekes kísérleteket végeztek és értékes eredményeket értek el a gázok hőokoza kiterjedése körül. *John Dalton* (1766—1844) 1801-ben a levegő kiterjedését mérte meg és 1808-ban a nyert kiterjedési együtthatót már az összes gázokra vonatkozólag érvényesnek találta, azonban azt vette fel, hogy a gázok kiterjedése mértani haladvány szerint növekszik, ha a hő számtani haladvány szerint emelkedik. Ezzel tehát ellentétes törvényt hirdetett *Louis Joseph Gay-Lussac* (1778—1850) törvényével szemben, melyet szerzője 1802-ben kimondott és melynek képlete:

$$v_t = v_o (1 + \alpha t);$$

Dalton törvénye pedig matematikailag kifejezve:

$$v_t = v_o (1 + \alpha)^t.$$

A folyadékok hőokoza kiterjedését is gondosan mérték és főleg a víz kiterjedésére irányították figyelmüket. A víz kivételes térfogatváltozását *Dalton* és *Rumford* tanulmányozták, arra törekedve, hogy *Deluc* adatát a víz legnagyobb sűrűségének hőfokát: az 5 C°-ot (1776) helyesbítsék; *Dalton* 5 83 C°-ot nyert eredményül, tehát még eltérőbb adatot, *Rumford* pedig 4 és 5 C° között állapította meg a sűrűség maximumát.

Végre megemlíthető, hogy a XIX. században, valamint már előbb is, sok fizikus a szilárd testek kiterjedésére és általában a testek hővezetőképességére vonatkozólag eszközölt számos kísérletet és mérést; ez utóbbi tekintetben jó ideig az a nézet kísértett, hogy a testek hővezető és elektromosságvezető képessége egyenes arányban áll egymással. A hővezetés terén *Jean B. Jos. Fourier* (1768—1830) műve: *Théorie analytique de la chaleur* (1822) jelent hatalmas lépést. A mű a hőterjedést minden szubsztanciára nézve három tényezőtől függőnek mondja: a hőkapacitástól, a belső és a külső vezetőképességtől; megállapítja a molekulák között a melegmennyiség átmenetelét, ezt áramlással teszi szemléltethetővé és bőven foglalkozik a testek kihülésének törvényeivel. A kihülésre vonatkozólag *Pierre Louis Dulong* (1785—1838) és *Alexis Thérèse Petit* (1791—1820) viszont kísérleti kutatásokat végeztek; ugyanők fedezték fel azt a nevezetes törvényt, hogy a testek fajhőjének és

atomsúlyának szorzata állandó szám (1819). E törvény vizsgálata rendkívül élénk kutatásra adott alkalmat és különböző állásfoglalást eredményezett. A törvény egyik nevezetes védője *Amadeo Avogadro* (1775—1856) volt, aki már 1811 körül mondta ki nevezetes törvényét, hogy azonos körülmények között a különböző gázok egyenlő térfogataiban egyenlő számú molekula van. — A gázok fajhője azonban mindig csak az állandó nyomás és szabadon változó térfogat melletti fajhője (C_p) volt; úgy látszik, *Dalton* volt az első, aki észrevette a gázok térfogatváltozásánál végbemenő hőváltozásokat és nemsokára tisztult az az összefüggés, mely a C_p és az állandó térfogat, de változó nyomás melletti fajhő: C_v között fennáll, hogy ugyanis:

$$\frac{C_p}{C_v} = k,$$

mire a legélénkebb kutatások megindultak ez állandó k szám meghatározására; ezek közül *Dulong* eredményei a legnevezetesebbek, melyek közül a levegőre vonatkozó 1.421 értéket említhetjük meg (1829).

A hő és a mechanikai munka közötti összefüggés gondolata is mind határozottabb alakot nyert és *Nicolas Léonard Sadi Carnot* (1796—1832 *Réflexions sur la puissance motrice du feu etc.* című nagyjelentőségű művében ennek megfelelő kifejezést is adott 1824-ben; a gőzgép működését vizsgálja és ebben körfolyamot lát, melyben mechanikai munka keletkezik, de viszont hő fogyasztatott; a munka azonban csakis hőmennyiségnek magasabb hőmérsékletű testből alacsonyabb hőmérsékletű testbe való átáramlásánál származhatik, mely tétel megfordítása így szól: hőnek hidegebb testről melegebbre való átvitelére mechanikai munka szükséges. Ha ugyanis munka befektetése nélkül lennénk képesek hidegebb testről melegebbre hőt átvinni, a melegebb testben felgyülemelő hőt mindig új munkamennyiséggé változtathatnók át és így végtelen nagy munkamennyiséget nyernénk

A hőviszonyokat, a hőnek kapcsolatát a mechanikai erőkkkel és még általánosabb összefüggését a világegyetem tényezőivel *Julius Robert Mayer* (1814—1878) tárja fel. Bár a tudományos korszellem már

teljesen éretté tette a nagy probléma megoldását, mégis bizonyos fokig meglepetésszerű volt tudományos fellépése. Első értekezése (1841) ugyan nem látott életében napvilágot, de megérdemli a méltatást mint további műveinek megnyitója komoly, tömör, tudományos stílusa miatt, melynek köntösében rendkívül széleskörű és mély tudományu látás és gondolkozás nyilatkozik meg; az erőkről szól ez az értekezés, mely különben töredék maradt és különös tekintettel nincs a hőre, melynek lényegére vonatkoznak további értekezései. *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (1842) első megjelent értekezése, melyben már kapcsolatba hozza a mechanikai erővel a hőt és kifejti, hogy „hő mutatkozik, ha a test egyes anyagi részecskéi egymáshoz közelednek; sűrűsödés meleget hoz létre; ami pedig a legkisebb anyagi részecskékre és ezek legkisebb közeire érvényes, az bizonyára nagy tömegekre és mérhető terekre is talál alkalmazást. Egy teher lesülyedése a Földtestnek valódi térfogatcsökkenése, ennél fogva tehát biztosan az emellett mutatkozó hővel kell kapcsolatban állania; e hőnek a teher súlyával és (ennek) eredeti távolságával pontosan arányosnak kell lennie“. Azután megállapítja Mayer a hő keletkezését és eltűnését: „Ahogyan a hő mint hatás keletkezik, térfogatcsökkenésnél és megszűnő mozgásnál, úgy eltűnik a hő mint ok, hatásainak, mozgásnak, térfogattömegnövekedésnek, teheremelésnek fellépésével. A vízművekben a keletkező és ismét eltűnő mozgás a térfogatcsökkenés rovására, melyet a Földtest a víz esése által állandóan szenved, szakadatlanul a hőnek tetemes mennyiségét szolgáltatja; fordítva viszont a gőzgépek a hőnek mozgásra vagy teheremelésre való szétbontására szolgálnak. A mozdony a vonatával lepárló készülékhez hasonlítható; a kazán alatt elhelyezett hő mozgásba megy át és ez viszont a kerekek tengelyein mint hő válik ki“. Azután másodszor is hangsúlyozza a „causa aequat effectum“ elvét és felveti a kérdést, „mily magasra kell egy határozott súlyt a Föld fölé emelni, hogy esési ereje egyenlőértékű legyen egyenlő súlyu víznek 0^0 -ról 1^0 C⁰-ra való felmelegedésével?“. A C_p és C_v közötti, 1.421 -nek ismert értékét is felhasználva, ezt a számbeli eredményt közli, „hogy egy súlymennyiségnek kb. $365\ m$ -nyi magasságból való lesülyedése-

nek vele egyenlő súlyu vízmennyiség 0^o-ról 1^o-ra való felmelegedése felel meg“.

Mayer legjelentősebb munkája *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel* című értekezése (1845), melynek címe azonban csak igen kevésbé felel meg a hőtani alapelvekkel foglalkozó mű tartalmának. A rövid bevezetéből a következő tételeket tartalmazó rész méltó közlésre:

„Oly objektumot, mely, miközben igénybe vétetik, mozgást idéz elő, erőnek nevezünk.

Az erő, mint mozgási ok, eppusztíthatatlan objektum. Semmiféle hatás sem keletkezik ok nélkül; semmiféle ok nem tűnik el megfelelő hatás nélkül.

Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum.

A hatás egyenlő az okkal. Az erő hatása ismét erő.

A megadott dolog quantitativ változatlansága legfőbb természeti törvény, mely egyenlő módon kiterjed erőre és anyagra.

A kémia a kvalitatív változások ismeretére tanít meg bennünket, melyeket az adott anyagok különböző körülmények között szenvednek és ebben minden egyes esetben tényleg a bizonyosságot szolgáltatja, hogy a kémiai folyamatoknál az adott dolognak csak a formája és nem a nagysága változik meg.

Amit a kémia az anyagra, azt a fizikának az erőre vonatkozólag kell bizonyítania. Hogy az erőt különböző formáiban megismerjük, metamorfózisainak feltételeit kutassuk, ez a fizika egyedüli feladata, mert az erő teremtése vagy megsemmisítése kívül esik az emberi gondolkodás és cselekvés tartományán.

Valójában csak egyetlen egy erő van.

Örökös változásban kering ez úgy a holt, mint az élő természetben. Sem ott, sem itt nincs jelenség az erő formaváltozása nélkül!“

A néhány soros I fejezet az erőről szól; a II. fejezet az erők mérését tárgyalja és az erők megmaradásának elvét jelenti ki. A III. fejezetben Mayer a régi korok erőin: az áramló levegőn és az eső vízen kívül a hőben látja azt a harmadik erőt, melynek hatásait az új idők bámulattal szemlélilik. „A hő erő; mechanikai effektusba átváltoztatható“. Miután

néhány számítást mutat be az égő szén és a robbanó lőpor melegének mechanikai effektusáról, megemlíti a most már pontosabb számbeli adatot: „Egy kg -nyi súlynak $425\ m$ -nyire való emeléséhez egy hőegység szükséges; amiből következik: hogy egy kg -nyi súlynak, mely $425\ m$ magasról lesülyed, ütés vagy dörzsölés útján ismét egy hőegységet (kaloriát) kell szabaddá tennie“. Tanulságos példák felsorolása után következnek a legfontosabb fizikai tételek, melyek a mozgásnak hővé való átváltozására vonatkoznak:

1. Negatív mozgás, miképpen negatív anyag, képzetes nagyság. Pozitív mozgásnak negatív mozgás által való megsemmisítése paradoxon.

2. Mint ahogyan az anyag mennyiségét az abszolút súly, úgy a mozgás mennyiségét a tömeg és a sebesség négyzetének szorzata határozza meg. A Cartesius féle tétel: erő = a tömeg és a sebesség szorzata, hamis és már Leibniz megcáfolta.

3. Mint ahogyan ellentétes minőségű tömegek, egy elektropozitív lug és egy elektronegatív sav, egymást közömbösítik, úgy ellentétes, pozitív és negatív irányú mozgások is lekötik egymást. A megváltozott minőségben, de változatlan mennyiségben fenmaradó adott dolog ott a közömbös só, itt a hő.

4. Az a viszony, melyben az egymást közömbösítő mozgások vagy anyagok egymáshoz állanak, rendesen nem az egyenlőség viszonya; az ugyanis ez objektumok milyenségétől függ. Sav és lug közömbösítik egymást, ha mennyiségeik vegyítési súlyaikkal, ellentétes irányú mozgások pedig, ha mennyiségeik sebességeikkel arányosak. A közömbösítésnél és a mozgások fellépésénél a sebesség a vegyítési súly szerepét játsza. A mechanikában ezt a törvényt: „a virtuális sebességek elve“ néven említik.

A IV. fejezet az elektromosságot nevezi meg, mint a fizikai erő negyedik megjelenési formáját. Ennél, valamint az analóg mágnességnél is, a mechanikai effektus felhasználásakor feszültség keletkezik.

A rendkívül terjedelmes V. fejezetből a legérdekesebb és legfontosabb részeket a következőkben közöljük:

„Minden fizikai és kémiai folyamatnál az adott erő állandó nagyság marad.“

Az erők főformáiról *Mayer* ezt a szkémát közli:

- | | | | |
|----------------------------|---|----------------|---------------------------|
| I. Esési erő | } | mekanikai erők | |
| II. Mozgás | | | |
| A) egyszerű mozgás | | | |
| B) hullámozó, rezgő mozgás | | | |
| III. impon- | { | Hő | |
| IV. dera- | | | Mágnesség |
| biliák | | | Elektromosság, galvánáram |
| V. Bizonyos anyagok | } | kémiai
erők | |
| kémiai elválasztottsága | | | |
| Bizonyos más anyagok | | | |
| kémiai összekötöttsége | | | |

Ezek után következik 25 kísérlet felemlítése, melyek e formák metamorfózisait bizonyítják.

A fejezet tulnyomó része a szerves életben mutató hőviszonyokkal foglalkozik.

Mayernek egy másik nevezetesebb műve 1848-ban jelent meg és a Nap melegének forrásait kutatja; 1850-ben pedig a hőegyenértékről írt értekezést, mely azonban újabb eredményeket nem tár fel, csak inkább a régieket foglalja össze áttekinthető egészben.

Mayerrel egyidejűleg és tőle függetlenül *James Prescott Joule* (1818—1889) fejtett ki nagy kísérleti tevékenységet a hő mechanikai egyenértékének meghatározására. Miután eleinte az elektromos áram hőhatásának mérésére fordította figyelmét, később a hő mechanikai egyenértékét iparkodott meghatározni, melyre nézve (mai mértékeinkre átszámítva) 1 kalóriára 460 *mkg* értéket nyert (1843). 1845-ben *Joule* is kifejezte, hogy a természeti erők meg nem semmisíthetők, hogy minden mechanikai erő felhasználásánál pontos hőegyenérték fejlődik ki; ugyanebben az évben levegősűrités módszerével 436 *mkg*-nak találta a hő egyenértékét és végre kifejtette azt, hogy a hő nem anyag, hanem a testeket alkotó részecskék mozgása. 1850-ben végre 424 *mkg*-nyi értéket ért el; értekezésének második pontjában közli ezt az adatot, míg az első pontjában azt a tapasztalatát jelenti, hogy akár szilárd, akár cseppfolyós testek dörzsölésénél fejlesztett hőmennyiség arányos a felhasznált erővel.

Elméleti uton ugyancsak ebben az időben, 1843-ban *Ludwig August Colding* (1815 - 1888) jutott az energia megmaradásának elvére, melyet őnála is

különösen a hőnek a mechanikai effektusokkal való kapcsolat támogatott.

Az összes tapasztalatok összefoglalásaképpen és matematikai megokolás eredményeképpen *Helmholtz* mondta ki az energia megmaradásának elvét a legteljesebb általánosságban (*Ueber die Erhaltung der Kraft* 1847.)

Rudolph Jul. Emm. Clausius (1822—1888) erre szélesen kiépítette a mechanikai hőelméletet; 1850-ben két tételt állított fel: az első az energia állandóságát mondja ki, a második az energia átváltozásának egyenértékét hangsúlyozza; 1854-ben ill. 1862-ben pedig megadta a tétel matematikai kifejezését is az ismert

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

képlet alakjában, melyben a 0-val való egyenlőség a megfordítható, a negatív érték pedig a meg nem fordítható körfolyamatokra érvényes Clausiustól való egyszersmind az „entropia” elnevezés melylyel a testnek többé át nem változtatható energiáját jelzi és melyet nevezetes tételében használt: „A világ-egyetem entropiája maximum felé törekszik.”

Az új hőelmélet terén rendkívül élénk és mély járatu tudományos munkásság indult meg, melyben Clausiuson kívül *William Rankine* (1820—1872), *Gustav Ad Hirn* (1815—1890), *James Clerk Maxwell* (1831—1879), *John Tyndall* (1820—1893), *Peter Guthrie Tait* (1831—1901), *Ludwig Boltzmann* (1844—1906) és *Szily Kálmán* (*1838) vettek részt.

d) Fénytan.

A XIX. század elején még mindig az emanáció- és unduláció-elmélet foglalkoztatta a szaktudósokat. *Young* 1800-ban két kérdést vetett fel az emanációval szemben: miképen magyarázható meg az, hogy a legkülönbözőbb fényforrások ugyanazzal a sebességgel lökik ki a fényrészecskéket és miért verődik vissza a fény egyik része, viszont miért törik meg a másik része, amikor a fény más optikai közeg határához ér? *Young* azonban megadja a két kérdésre a magyarázatot a hullámelmélet alapján. A döntés már 1801-ben történt, amikor *Young* a fény interferenciájának tűnemé-

nyét fedezte fel és a vékony lemezek színeit magyarázta. 1804-ben pedig kifejtette, hogy a fényelhajlás tűneményének magyarázata is a hullámok interferenciális találkozása.

Ismét nagy jelentőségű optikai felfedezés volt a fény polarizációja, mely *Etienne Louis Malus* (1775–1812) nevéhez fűződik (1808). *Malus* eredetileg a kettős törésnél fedezte fel az új tűneményt, de 1811-ben az egyszerű törésnél mutatkozó polarizáció törvényeit is megállapította. *Arago* 1811-ben a kromatikus polarizációt fedezte fel, *David Brewster* (1781–1868) pedig további kutatásai folytán a kristályokban az izokromatikus görbéket állapította meg (1813).

Augustin Jean Fresnel (1788–1827) 1815-ben mutatta be az interferenciát a tükrökről visszaverődött fényre, 1819-ben pedig *Arago*-val együtt kifejtette a polarizált fény interferenciájának törvényeit: 1. két, ugyanabban az irányban polarizált fénysugár úgy interferál, mint a közönséges fénysugarak; 2. két, egymásra merőlegesen polarizált fénysugár semmiféle körülmények között nem interferál; 3. két, egymásra merőlegesen polarizált fénysugár, melyek polarizált fénysugárból származnak, interferál, ha ugyanabban a polarizálási síkba kerülnek; 4. két, egymásra merőlegesen polarizált fénysugár, melyek természetes fényből erednek, még e körülmények között sem interferál. *Young*, aki már 1817-ben értesült e törvényekről, a második törvény alapján kimondta azt a logikus következtetést, hogy a fény rezgéseinek iránya tehát nem eshetik össze a fény terjedésének irányával vagyis: a fényrezgés nem lehet longitudinális, hanem tranzverzális (keresztrezgés). *Fresnel* további vizsgálatai a fény kettős törésének törvényeire vonatkoznak (1821). Említésre méltó még e helyen, hogy a keresztrezgés eleinte nem talált kedvező fogadtatásra.

A Nap spektrumában legelőször *William Hyde Wollaston* (1766–1828) vett észre fekete vonalokat 1802-ben, behatóbb tanulmányokat azonban e tekintetben csak *Joseph Fraunhofer* (1787–1826) végzett, melyeket 1814–5 folyamán közzétett. 1821–2-ben viszont a fényelhajlási tűneményekkel foglalkozott és a rácsok színképéből meghatározta a főbb fekete vonaloknak megfelelő fényhullámhosszuságokat (a D

vonálnak megfelelően pl. 0.00002175 hüvelyk értéket találta). Fraunhofernél elméletibb szempontból *Friedrich Magnus Schwerd* (1792–1871) vizsgálta a rácsjelenségeket és deduktív módon erősítette meg ezekkel kapcsolatban a hullámelméletet (1835). Említésre méltó *Jacques Babinet* (1794–1872) ajánlata, melyet 1829-ben tett, hogy a hosszmérték bizonyos meghatározott fényhullámhosszra alapíttassék, mert ez abszolút állandó hosszúság.

A XIX. század közepe táján a fény terjedési sebességének meghatározását tűzték ki célul egyes fizikusok. *Aragó* ösztönzésére *Jean Bernard Léon Foucault* (1819–1868) — ugyanaz, aki 1850-ben nagy feltűnést keltő ingakísérletével a Földnek tengelye körüli fordulását demonstrálta — 1850-ben forgó tükrök segítségével arról szerzett meggyőződést, hogy a fény terjedési sebessége a vízben kisebb, semmint a levegőben. *Hippolyte Fizeau* (1819–1896) pedig már 1849-ben a forgó fogaskerék módszerével a fénynek levegőbeli abszolút terjedési sebességét határozta meg és 28 mérés alapján ezt másodpercenkénti 313.274 *km*-nek találta; helyesebb eredményt kapott ismét *Foucault* 1862-ben 288.009 *km* értékben (légüres térre vonatkoztatva). További mérések eredményei:

<i>Alfred Cornu</i>	(1873): 298.500 <i>km</i> ,
"	(1874): 300.330 <i>km</i> ,
<i>Albert Michelson</i>	(1878): 299.954 ± 50 <i>km</i> ,
<i>J. Young és G. Forbes</i>	(1881): 301.382 <i>km</i> .

A fény terjedésére vonatkozólag *Christian Doppler* (1803–1853) 1842-ben arra figyelmeztetett, hogy valamely hullámmozgás érzékbeli felvételénél nemcsak a mozgás abszolút sebessége, hanem a hullámforrás, esetleg az érzéki szerv mozgása is tekintetbe veendő. Ennek alapján azt következtette, hogy egy felénk közeledő fényforrás esetében a sárga fénynek a zöldbe, kékbe, ibolyába, távolodásnál pedig narancssárgába, vörösbe kell átmennie; ebből azt magyarázta, hogy közeledő és távolodó csillagok fehér fénye miért mutatkozik színesnek. Érdekes, hogy *Christoph Heinr. Dietr. Buys-Ballot* (1817–1891) 1845-ben Doppler elvét akusztikailag kísérletekkel igazolta, de az optika terén tagadta az elv helyességét.

Nagy figyelmet fordítottak a foszforeszcencia tüneményére is, melyre vonatkozólag *J. Will. Draper* (1811—1882) állított össze hét törvényt (1851); behatóbb tanulmányokat azonban *Alex. Edmond Becquerel* (1820—1891) tett, aki 1859-ben számolt be vizsgálatainak eredményeivel és ismertette foszforoszkopját. A foszforeszkálásnak ötféle fajtát állította össze: 1. izzásig való hevítéskor, 2. mechanikai effektusokból, 3. elektromosság használásával, 4. élő szervezetektől és 5. inszoláció útján származó foszforeszcenciát: észrevette továbbá azt is, hogy minden fluoreszkáló test mutat némi foszforeszcenciát. A fluoreszcenciát viszont *Brewster*, *John Herschel* (1798—1871) és *George Gabriel Stokes* (1819 - 1903) tanulmányozták önállóan; a „fluoreszcencia“ elnevezése is *Stokestól* ered és ő fogalmazta meg azt az általánosnak látszó törvényt, hogy, ha a fény törését a diszperzió megváltoztatja, akkor azt mindig csökkenti; említésre méltók még e téren *Eugen Lommel* (1837—1899) tanulmányai is (1862, 1871).

A spektrálanalízis újabb művelői közül *William Allen Miller* (1817—1870) tűnik ki a gázok, gőzök és fémek sók spektrumának tanulmányozásával (1845); *W. Swan* (1818—1883) viszont a szénhidrogénvegyületek (1855), *Anders Jäns Ångström* (1814—1874) fémvegyületek (1855) szinképeit vizsgálta, *Julius Plücker* (1801—1868) pedig a különböző gázokkal töltött Geissler-csővekben átugró elektromos szikra szinképéből megtudta határozni az illető gáz minemiségét (1858). *Balfour Stewart* (1828—1887) már 1861-ben jelezte az abszorpció és emisszió közötti összefüggést, de inkább a hőre, semmint az optikára vonatkozólag tartotta érvényesnek; a legnagyobb horderejű felfedezések *Gustav Rob. Kirchhoff* (1824—1887) és *Bunsen* nevéhez fűződnek, akik 1859-ben a Fraunhofer-féle vonalak keletkezését helyesen magyarázták és a spektrálanalízisnek új irányt is adtak, amennyiben az addig ismeretlen elemek felfedezésére vezetett.

A fotografálás eredete is a XIX. század elejére esik. Klórezüstpapíron előállított képet *Nicéphore Niépce* (1765—1814) állandósított először 1814-ben nagyon bonyodalmas eljárással, melyet *John Herschel* 1820-ban az alkénessavas nátron ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) alkalmazásával lényegesen egyszerűsített. Ugyanabban

az időben *L. Jacq. Mandé Daguerre* (1789—1851) is foglalkozott fényképelőállításokkal, majd összekötésbe lépett *Niépce*-szel, ennek halála után pedig sikerült a *Daguerreotipia* módszerét kialakítania (1835, : ez abban állott, hogy a jódezüstön keletkezett képet higanygőzöknek kitette, melyek a fény által felbontott helyekre lecsapódtak, a fel nem bontott jódezüstöt pedig alkénessavas nátronnal eltávolította. Az így keletkezett képeken azonban a jobb oldal fel volt cserélve a bal oldallal; *W. H. Fox Talbot* (1800—1877) ezen a bajon úgy segített, hogy a negatív képről papírra új pozitív képeket kopizált; a „fotografia” és „fotogenia” elnevezés is Talbottól ered. *Claude Niépce de St. Viktor* (1805—1870) 1848-ban ezüstsótartalmu tojásfehérrel bekent üveglemezeken állította elő a negatív képet (Talbot ugyanis papíron készítette a negatív képet is.) A fotográfálás további fejlődése inkább technikai szempontból fontos, e helyen csak a fizikai céloknak szolgáló spektrumfotográfálást, melyet *Gabriel Lippmann* (* 1845) talált fel 1891-ben és a csillagászati fotográfálást említjük meg, mely égi testek felfedezésére bizonyult alkalmasnak.

A fotográfálás nagyobb mértékben megindította a fény kémiai hatásának tanulmányozását is, mely téren főleg *Biot* fejtett ki tevékenységet. 1839-ben megállapította különböző anyagoknak abszorpcióképességét a kémiai sugarakra vonatkozólag és felfedezte a szoros összefüggést a kémiai sugarak és a foszforeszcencia között *Becquerel* pedig azt tapasztalta, hogy még sötétebb fajtájú hegyikristály is több kémiai sugarat bocsát át, semmint tiszta üveglemez.

A fénymérésre vonatkozólag pedig *Rumford* (1813), *William Ritchie* († 1837) (1829) és *Bunsen* (1843) fénymérő készülékeit említjük fel.

e) Anyagszerkezet, természetfilozófia.

A XIX. század kezdetén nagyon divatos volt a fizikai jelenségeket, mint a ponderabiliák és imponderabiliák tünényeit megjelölni. E két kifejezéssel nagyjában megelégedtek és minthogy az egymást szinte rohamlépésben követő felfedezések foglalták le a természettudományokkal foglalkozók érdeklődését és munkásságát, az okbeli összefüggések

tanulmányozására, kifejtésére nem került a sor és egyébképpen is inkább csak a ponderabiliákra vonatkozott. A legnagyobb érdeklődést e téren a gravitáció keltette, melynek nyitját *George Louis Lesage* (1724–1803) vélte megtalálni, aki 1784-ben egyik művében kifejtette, hogy a gravitációt a teret betöltő korpuszskulumbok ütközése okozza; nagy körültekintéssel vizsgálta az összes lehető ellenvetések és a sebességek szummációjának elvét vezette le: s tulajdonképpen ez tekinthető fáradozása legbecsebb eredményének.

Immanuel Kant (1724–1804) is a mozgások összetételét fogadja el, amikor az anyagot dinamikai alapon tárgyalja, mely szerint „anyag mozgékony dolog, amennyiben teret betölt“, még pedig betölti a teret „összes részeinek taszító ereje által“, melynek tehát az áthatatlanság a következménye és jelentkezése. E taszító erőt a kis távolságok harmadik hatványával fordított arányban levőknek jelzi, míg az anyagok vonzása, mely az anyagrészecskék e taszító erejével szemben biztosítja az anyag existenciáját, a távolság négyzetével fordítottan arányos. Azonban *Kant* is elveti az „actio in distans“ feltevését és szükségszerűnek tart oly szubsztanciát, mely az egész világegyetemet betölti és mely öröktől fogva mozgó: ez az éter. Ennek az éternek csak rezgő mozgást tulajdonít; továbbá súlytalannak veszi fel minden más anyagi, súlyos tömeggel ellentétben, mert a végtelen teret mindenütt egyenletesen betölti, a testeket nemcsak körülveszi, de át is hatja és így semmiféle irányban sem eshetik. A súlyos tömeget pedig bárhol a térben folytonos mozgásban levők ismeri fel.

Friedrich Wilh. Jos. Schelling 1775 - 1854) is a Kant-féle természetfilozófia alapjaira helyezkedik, de arra törekszik, hogy azt az akkori újabb felfedezésekre, főleg a galvanizmus jelenségeire is kiterjessze. A természet szerinte minden létnek összefoglalata, a lét pedig az abszolút tevékenység és az egész természet is ebben fejeződik ki, ebben nyilvánul meg. Minthogy pedig az abszolút tevékenység végtelen nagy produkciós eredményt hozna létre, ennek véges nagyságra való redukálására tehát egy az előbbi tevékenységgel szemben működő, hátráltató tevékenységre van szükség. A természet

tehát két, egymással ellentétes erőben áll; e kettőnek egysége pedig az anyag, melyben e két erő különböző viszonylatban van meg. Így minden anyag „az akció bizonyos foka“, különböző tulajdonságai akciók és a tér bizonyos „törekvés jelensége“. A fényben azonban Schelling semmiféle anyagot nem működtet, az nem anyag, hanem „az anyag első eszményi tevékenysége“. És míg az anyag tevékenységben a teret teljesen betölti, a fény csak a térbetöltés „konstruálása“ és így — bár a létnek ugyanabba a szférájába esnek — nem azonosak egymással. Schelling természetfilozófiája tehát dinamikai alapon álló „spekulatív fizika“. Minthogy azonban Schelling a szerves természetet is mindinkább a szerves természetet illető intellektuális szempontból tekintette, a fizikusok nem találták meg természetfilozófiájában azt az értéket, melyet reméltek.

Sokkal közelelebb állott a fizikusok felfogásához *Pierre Simon Laplace* (1749—1827) racionálisabb természetfilozófiája, mely teljesen mechanikai alapon fejtegeti a természeti tűneményeket. *Biot* is hasonló csapásokon halad és az áthatatlanságban és kiterjedésben látva az anyag két lényeges tulajdonságát, szintén a gravitáció rejtélyével foglalkozik

A természetfilozófiában időnkint különböző hullámzások mutatkoztak, melyeket a speciális fizikai felfedezések létrehoztak. Így nagyon előtérbe nyomult a hőelméleti szempont, hol a hőanyag felvételére támaszkodva, hol viszont az atomok mozgását alapul véve. A kémiai ismeretek bővülése viszont az atomelméletet rendítette meg egy időben, mert az anyagnak különféle alakokban való mutatkozása (izomeria, metameria, polimeria, stb.) ellentétben látszott állani azzal a változatlansággal, melyet az atomoknak tulajdonítottak.

Mayer és *Joule* kísérletei ismét újabb és egységesebb irányt adtak a természetfilozófiának, mely akkor az erők megmaradásának elvét törekedett a lehető legteljesebb általánosságban kidomborítani, amiről az illető helyen megfelelő keretben megemlékeztünk.

Az utolsó félszázad.

A folyamatoknak korszakokra való osztása akkor ütközik a legnagyobb nehézségekbe, ha e folyamat folytonos és erőteljes, ha tehát szünet, pangás, visszaesés nélkül való és serény munkásságból folyó gazdag eredmények táplálják azt. Így tehát legkevesebb a XIX. században lehet oly évet vagy akár hosszabb időtartamot is megjelölni, mely bizonyos fordulópontot jelentene a természettan haladásában. Minthogy azonban bizonyos, hogy 1880 körül más volt a tudományos módszer és felfogás, mint pl. 1840-ben, mégis feljogosítva vagyunk oly fordulatokra, eredményekre figyelmünket fordítani, melyek azt a változást előidézhették. Ily változás egyik nagyfontosságú okozójának, az erők megmaradásának törvényét kell jeleznünk, mely egyes tudósok agyában már korai idők óta szinte intuitív módon fogamzott meg (*Descartes*), azóta is többször kísértett és végre a XIX. század közepe táján meggyőzően, érthetően, helyesen fogalmazva, új alapot nyújtott nemcsak a természettannak, hanem mai nap már az általános természettudománynak is. A nevezett törvény kialakulása a hőtani vizsgálatokkal állott szoros összefüggésben, ezek pedig mechanikai jelenségek megismerésére vezettek, ennek következtében tehát az egész fizika mechanikai alapra helyezkedett. Ily módon a fizika helyesen mint a szervetlen természetben végbemenő jelenségeket, változásokat létrehozó okok vagy erők tudománya volt definiálható. Ez pedig nagy egységet teremtett a fizikai tudományos felfogásban és mindinkább kialakított egy közös célt, mely az összességes anyag mechanikájának megismerésére irányult. Az összességes anyagról szerzett képzeink azonban két elméletre szorulnak: az egyik az atóm-, a másik az éterelmélet. Minthogy érzékeink a mikroszkopikus méreteken aluli mikrokozmosz világába betekintést nem engednek, másrészt oly kinetikai jelenségek vannak, melyekben az anyagot éppenséggel nem észleljük, de melyeket csakis anyag közrehatásával tudunk elképzelni, okvetetlenül el kell fogadnunk e hipotéziseket; ezek természetesen nem örökre szóló, dogmatikus igényekkel akarnak érvényesülni, hanem csak gondolkodásunknak némileg magyarázó, szem-

léltető támasztékot kívánnak nyújtani. Mindenesetre nagy megszabadulás, megváltás volna a tudományra nézve, ha minden hipotézist nélkülözhetne.

Az erők megmaradásának törvénye és vele párhuzamosan a kémiában az anyag megmaradásának törvénye bizonyos didaktikai fegyelmező hatással volt a természettudományokkal foglalkozókra és gátat emelt annak a sok tervszerűtlen kalandozásnak, mely pl. a perpetuum mobile feltalálására, az elemeknek egymásba való átváltoztatására és hasonló törekvésekre csábította az elméket. A természettudományi gondolkodás fejlesztésére jó hatással volt az a körülmény is, hogy kulturális államokban a természettudományok az általános közoktatásban is mind jelentősebb helyet foglaltak el és így módot nyújtottak arra, hogy a szellemi munkások minél nagyobb rétegei vehessenek részt a természet vizsgálásában. Míg a mult századokban csak egyetemi tanárok, orvosok, csillagászok és egyes nagyobb vagyonu férfiak voltak abban a kiváltságos helyzetben, hogy laboratóriumban dolgozhattak, az újabb időben már minden arra törekvő ember módot talál természettudományi kiképzéséhez szükséges hely és eszközök megszerzésére. Az óriási tudományos irodalom pedig módot nyújt mindenkinek, hogy a tudomány haladásáról tudomást szerezzen, esetleg ahhoz hozzájárulhasson.

Azzal, hogy az erők megmaradásának törvénye egységesebb felfogást honosított meg a fizikai gondolkozásban, az is járt, hogy józanabb szempontból kezdte a tudós világ a természettudományi jelenségeket szemlélni, élesebben körvonalozta a határokat, amelyekig törekedni kell és lehet és jobban felismerte azokat a határokat, amelyeken túl a korlátolt emberi ész nem tud jutni; mindezek mellett a természettudományi módszertan is kifejlődött és tökéletesbült, úgy hogy a modern természettudományi kutatásról azt az ítéletünket fejezhetjük ki elfogulatlanul, hogy az módszeresen, céltudatosan, természetfilozófiai megértéssel törekszik a minél tökéletesebb ismeretekre.

A természeti tünemények megismerésére egyrészt a kísérleti, másrészt a matematikai módszer szolgál; ezek természetesen nem ellentétes, hanem egymást elősegítő, kiegészítő, igazoló, ellenőrző, a

kutatás stádiumában néha egymást felváltó eljárásoknak tekintendők. A matematikának rendkívül fontos szerepe van a fizikában, mert nemcsak kísérletileg megállapított törvényeket igazol, hanem — főleg a mechanikában — egyik törvényből további törvényeket alkot és ezzel viszont direktívát nyújt a kísérleti munkásságnak. A teljesen általánosságban tartott, nagyjában csak formalisztikus matematikai tárgyalás azonban, mely az empirikus eredményekkel kapcsolatot nem tart fenn, nem jelent a fizika számára oly nagy értéket, mint amilyent egyes helyekről és egyes időkben annak tulajdonítani törekednek.

a) *Mechanika.*

A mechanika a fizikának legrégebben tanulmányozott, matematikailag feldolgozott ága. Egyszerű, szemlélhető jelenségei és az emberiség technikai életével szorosan összefüggő volta korán keltették fel iránta az érdeklődést. Miután a matematikai tárgyalásra első sorban alkalmas, a tudományos világ nagy betekintést nyert ebbe az ágazatba, mely majdnem teljesen kidolgozott elméletével szinte a befejezettség bizonyos fokáig emelkedett.

Az erők megmaradásának törvénye után néhány fogalomnak kellett még tisztulnia, aminek az volt a következménye, hogy nemsokára még pontosabb módon fogalmazódott a fizikának ujjbkkori legáltalánosabb érvényű tétele, mint az *energia megmaradásának törvénye*, mely a legáltalánosabb vonatkozású érvényességre tett szert.

Az elméleti mechanikában a potenciálemélet fejlődött ki az összes erőket összefoglaló fizika-matematikai diszciplinnává, mely a XIX. század első feléből származó egyes tételeket teljesen összefüggő, kidolgozott rendszerbe belefoglalta. Jelentékeny művelő volt az ujjb időben e téren a már említettéken kívül még *Michel Chasles* (1793–1880).

A kinematikát inkább gépészeti szempontból *François Reuleaux* (1829–1905) dolgozta fel elméletileg, míg *Ludwig Burmester* (* 1840 tisztán geometriai alapon fogta fel a mechanika e részét. Még speciálisabb térre szorítkozott *August Ferd. Möbius* (1790–1868), aki a testek egyensúlyának tanában is a geometriai módszert használta és hasonló módszer

segítségével vetette meg a grafosztatika alapját *Karl Culmann* (1821 - 1881).

Egyes problémák megoldása, bizonyos állandók mértékbeli meghatározása, néhány kérdés tisztázása céljából az újabb időben is nagy kísérleti és elméleti tevékenységet fejtenek ki a mechanika terén. Így a Föld gyorsulásának meghatározására mind pontosabb módszerek kialakulásán fáradoznak. Az ingának

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

lengésidő képlete alapján az l pontos meghatározásával a gyorsulás értéke kiszámítható; erre a megfigyelésre vonatkozólag *Karl Christian Bruhns* (1830—1881) 1870-ben és *Herm. Carl Vogel* (1842—1907) 1881-ben eszközöltek lényeges javításokat. *Ernst Mach* (* 1838) a nem vízszintes tengelyű ingát használta ingamérésekre (1881). Nagyfontosságú kutatásokat végzett a földi nehézkedés körében *Eötvös Lóránd báró* (* 1848) tökéletesített csavarási mérlegével, mellyel 1907 óta nagyhirű geofizikai méréseit eszközli.

A gépészeti technikára elsőrendűen fontos surlódási viszonyok felderítésében jelentékenyen közre működtek *A. J. Morin* (1795 - 1880), *Osborne Reynolds* (1842—1911) és *J. H. Jellett* (1817—1888).

A rugalmassági elméletben főleg a rugalmas utóhatás elméletét kifejtették és annak gyöngülését tanulmányozták *Clausius*, *Friedrich Kohlrausch* (1840 - 1910), *Boltzmann*, *Karl Ferd. Braun* (* 1850) és *E. Wiechert* (* 1861).

A hidromekanikában a forgó, összenyomhatatlan folyadékok egyensúlyi alakzatának *Karl Gust Jac. Jacobi* (1804—1851) által 1834-ben felvetett kérdése újabb tanulmányozások tárgya lett, melyekben *Jos. Ant. Ferd. Plateau* (1801 - 1883), *E. A. Roche* (1820 - 1883) és *Ludwig Matthiessen* (1830—1906) vettek részt és kiépítették az idevonatkozó elméletet.

A kapilláris erőkre vonatkozólag szintén *Plateau* végzett vizsgálatokat 1861-ben szappanbuborékokkal. A folyadékoknak szilárd testeken való szétömlésével *Georg Quincke* (* 1834) foglalkozott, a hidrometria (áramlási sebesség, stb.) terén pedig elméletileg *Gotthilf Heinr. Ludw. Hagen* (1797—1884), ki a folyamok középsebességére képletet is szerzett (1868),

Ph. G. Darcy és *Harry Gravelius* (* 1864), kísérletileg viszont még számosabban működtek. A szökőkutakban a felszökő víz sugar magasságára *Julius Weisbach* (1806—1871) szerzett képletet 1861-ben, a folyadékok belső surlódását okozó erőre, az ú. n. viszkozitásra vonatkozó tanulmányokat pedig *Edmund Hagenbach* (1833—1910) tett, megadván egyszersmind a viszkozitás pontos definícióját (1860); ugyancsak e téren jutottak értékes eredményekre *Pietrowski* 1860-ban és *Oscar Emil Meyer* (1834—1909) 1861-ben, *C. Christensen* (* 1843) pedig tüzetesen feldolgozta a problémát. A folyadékok kiömlését az edény falaival való surlódás tekintetbevételével *Emil Warburg* (* 1846) és *W. C. Unwin* tanulmányozták (1870, 1880). *Helmholtz* az örvényelméletet állította fel 1858-ban, *Valentin Jos. Boussinesq* (* 1842) és *H. Lamb* (* 1849) pedig tovább fejtegették az idevaló kérdéseket. *Eötvöstől* való a folyadékok felszínfeszültsége és molekula-térfogata közötti összefüggés törvénye.

Gázoknak csövekben való áramlását, mely téren a vizsgálatokat *Jean Franç. D'Aubuisson* (1769—1841) kezdeményezte 1827-ben, ugyancsak *Weisbach*, továbbá *A. F. Fliegner* (* 1842), *Magnus* és *K. F. O. von Feilitzsch* (1817—1884) tanulmányozták. A higanylégszivattyu tökéletesítésében részt vettek *H. Geissler*, *Phil. Gust. von Jolly* (1809—1884), *Aug. J. J. Toepler* (1836—1912) és *Schuller Alajos* (* 1845).

A gázok belső surlódását *George Gabriel Stokes* (1819—1903) ismertette 1851-ben, majd *Maxwell* vezette le a surlódás koefficiensének képletét 1860-ban; kísérleti meghatározását 1866-ban végezte egyidejűleg *O. E. Meyerrel*, míg 1877-ben ismét *O. E. Meyer*, *Albert von Obermayer* (* 1844) és *J. Puluj* (* 1845) szolgáltatnak kísérleti eredményeket. A gázoknak szilárd és cseppfolyós testek által való elnyelésére vonatkozólag *Bunsen* végzett 1883-ban fontos vizsgálatokat.

b) Hangtan.

A *Helmholtz-féle* összegezési hangokat *König* mutatta ki kísérletileg 1876-ban majdnem egyszerű hangot adó hangvillák segítségével; 1881-ben újra fejtegette e jelenségeket nagyobb munkában. *Robert Weber* (* 1850) pedig 1885-ben „elektromos sziréna”

nevü készülékével bizonyította be a különbözeti és összegezési hangok fellépését.

Az ú. n. kémiai harmonika, melynek meglepő tulajdonságait *Franz Gotth. Schaffgotsch gróf* 1816—1864) fedezte fel 1857-ben, sok fizikus beható tanulmánya után az ú. n. surlódási hangok elméletére vezetett; itt azok a hangok veendők figyelembe, melyek gázoknak szilárd testeken való tovaáramlásánál keletkeznek. Ily hangokról *Vinc. Strouhal* (* 1850) adott 1878-ban első ízben nagyobb összefoglaló munkát, melyben azonban az eolhárfa és az ajaksipok hangját is a légáram surlódására vezeti vissza; ehhez az elmülethez csatlakozott *Fr. E. Melde* (1832 - 1901) is 1883-ban kiadott akusztikájában. Az ú. n. réshangokat *Wilhelm Kohlrausch* tanulmányozta 1881-ben és oly eredményekre jutott, melyek *Strouhal* elméletének megfelelnek.

A hangtani jelenségeknél is kezdték figyelembe venni az energia fellépését és *Warburg* 1869-ben arra figyelmeztetett, hogy szilárd testek hangzásánál az akusztikai energia egy része mindig hővé változik át, még pedig annál nagyobb mértékben, minél hamarabb szűnik meg a test hangzása; *Champion* és *Pellet* pedig a hangnak kémiai energia kiváltásra való képességét fedezték fel 1872-ben, amikor jódnitrogén bizonyos magas hangok hatása alatt felrobbant. Viszont a hangnak rezonátorok által való abszorpcióját is tapasztalta bizonyos esetekben *Arthur Christiani* (1842 - 1887) 1882-ben. A hang és az elektromosság közötti energiaátváltást pedig *Graham Bell* (* 1847) telefonja dokumentálta (1876).

Az akusztikai energia fogalma a hangmérés szükségét hozta magával és éreztette mind erősebben: azonban ez a hangmérés, a szonometria nehezebben létesíthető eljárás a fotometriánál, minthogy az itt szereplő szervünk, a fül, még kevésbé alkalmas intenzitások különbségeinek megítélésére, semmint a szemünk. Azért tehát inkább készülékek szerkesztésében fáradoztak, melyek a hangintenzitások összehasonlítására alkalmasak. *Alfred M. Mayer* 1873-ban két oldalról hang iránt érzékeny lángra vezette két hangforrás hanghullámait, melyeket úgy helyezett el, hogy a láng nyugalomban maradjon; ekkor a távolságok négyzeteinek fordított

aránya szerint állapította a hangintenzitások viszonyát. A. Oberbeck (*1846) 1881-ben galvánáramba mikrofont és galvanométert csatolt és a galvanométer kitérését arányosnak vette a mikrofonra ható hangintenzitással; a hangintenzitást pedig egy tapasztalati képletből határozta meg:

$$J = p \cdot h\varepsilon,$$

hol p azt az ólomsúlyt jelenti, mely h magasságból deszkákra esik, ε pedig gyakorlati uton meghatározott állandó, melynek értéke 0.629 és 0.656 között változik.

c) Hőtan.

A mechanikai hőelmélet óriási jelentőségre tett szert, mert nemcsak elméleti fejtegetés és kísérleti kimutatás támogatta a leghathatósabbban az új elméletet, de ez még arra is mutatkozott nagy mértékben alkalmasnak, hogy az anyag szerkezetébe mély bepillantást nyújtson. Minthogy a hőállapotban a test molekuláinak mozgása jut kifejezésre, az általános figyelem a gázok felé fordult, melyeknek molekulái a legszabadabb mozgást végezhetik, aminek eredménye a modern kinetikai gázelmélet csodálatot keltő kialakulása lett. August Karl Krönig (1822 – 1879) fejtette ki az első világos és szemléltető elméletet a gázok molekuláinak mozgásáról 1857-ben. Szerinte a gáz atomjai nem egy bizonyos egyensúlyi helyzet körül rezegnek, hanem egyenletes sebességgel egyenes vonalon mindaddig haladnak, míg más gázatomba vagy a gázt körülzáró edény falába ütköznek. Elméletét matematikailag is támogatta és mivel ezen az uton nem csekélyebb eredményeket ért el, mint hogy a Mariotte-, a Gay-Lussac- és az Avogadro-féle törvényeket hozta ki néhány egyenlettranszformálás után, nagy hatást ért el a kinetikai gázelmélet térfoglalásában. Mig azonban Krönig többrendbeli megszorítással élt, nevezetesen: hogy a gáz minden molekulája egyenlő tömegű és egyenlő sebességű és hogy egy zárt parallelepipedonban foglalt gázatomoknak egy-egy harmada ütközik egy-egy párhuzamos lappárra, addig Clausius elejtette ezt a feltevést és így is Krönig eredményeihez jutott. Clausius a gázmolekulák mozgásának módját is kiszélesítette, amennyiben felvette, hogy

nemcsak egyenes irányu mozgásban vannak az atomok és molekulák, hanem bizonyos forgó mozgások is támadhatnak, minthogy nem mindig centrális az ütközés, végre pedig még rezgő mozgást is feltételezett, melyet főleg a molekula egyes atomjai végezhetnek ama határok között, melyeken belül még a molekula fennállása biztosítva van. Clausius egyébként mind a három halmazállapotot magyarázta meg a molekulák mozgásának különböző módja szerint, így a szilárd testekben a részecskéket bizonyos egyensúlyi helyzet körül való rezgőknek mondta, a folyadékokban pedig a molekulák ugyan már szabadabban mozognak, azonban haladó mozgásuk még nem oly nagy, hogy a szomszédos részecskék „hatási szférájából” kiléphessenek; a folyadékok felszínén azonban már ily viszonyok állanak elő (párolgás).

A kinetikai gázelmélet rendkívül gyorsan tért hódított, mert nagyon egyszerűnek, tetszetősnek, szemléletesnek és meggyőzőnek mutatkozott és így a legrövidebb idő alatt nagy munkásságot indított meg ezen a téren, ami viszont meglepő eredményekkel járt: oly adatokra tett szert egyszerűen a tudomány, melyekről nem is várt egyhamar oly pontos, biztos, exakt értékeket. Így többek között *Clausius* rendkívül egyszerű képletekből meghatározta a molekulák középsebességét, melyet normális nyomásu, 273 C⁰-u abszolút hőmérsékletű levegőnél 485 *m*-nek talált, más gázokra és más hőmérsékletre vonatkozólag pedig ezt a képletet használta:

$$u = 485 \sqrt{\frac{T}{273 d}},$$

hol *T* az abszolút hőmérséklet, *d* pedig az illető gáznak a levegőre vonatkoztatott sűrűsége. Minthogy a *Clausius* által talált középsebesség valószínűsége ellen némi kételyeket támasztottak, *Maxwell* fejtegette tüzetesen ezt a kérdést 1860-ban és eléggé megerősítette *Clausius* eredményeit. A kinetikai gázelmélet egyéb vívmányai voltak a molekulák középúthosszának meghatározása átlagosan 0.095 μ értékben (*Clausius* 1858, *Maxwell* 1860, *O. E. Meyer* 1866, 1877) és a gázok belső surlódásának megismerése.

A legbámulatosabb eredmény azonban az volt, hogy a kinetikai gázelmélet alapján ki tudták számítani a gázmolekulák nagyságát és azoknak adott térfogatban foglalt számát. *J. Loschmidt* (1821—1895) 1865-ben a levegőmolekula átmérőjét 0.00118μ -nak számította ki, a gázok 1 cm^3 -nyi térfogatában levő molekulák számát pedig 20 trilliónak. *Joh. Diderik van der Waals* (* 1837), *Ernst Dorn* (* 1848) más-más módszer alapján határozták meg a molekulák nagyságát (1873, 1881) majdnem ugyanabban az értékben, *O. E. Meyer* pedig az 1 cm^3 -ben foglalt gázmolekulák számát 21 trilliónak találta 1877-ben.

A testeknek cseppfolyós és gáznemű halmazállapota közötti átváltozásokat is a kinetikai gázelmélet szempontjából vizsgálták, mely vizsgálatok folyamán. *Thomas Andrews* (1813—1885) 1861-ben és tökéletesebben 1869-ben az ú. n. kritikus pont ismeretére jutott *Andrews* útmutatására *Cailletet* és *Pictet* foglalkoztak behatóan az ú. n. állandó gázok cseppfolyósításával; az előbbi 1877-ben észlelte az oxigénnek és a széndioxidnak, később a nitrogénnek is -29 C^0 hőmérséklet mellett és 300 at nyomás alatt mutatkozó ködszerű megjelenését, az utóbbi pedig 1877. dec. 22 néhány cm^3 folyékony oxigént állított elő (-140 C^0 mellett és 320 at nyomás alatt), nemsokára folyékony hidrogént is kapott hasonló eljárás alapján. *Sigmund von Wroblewsky* 1848—1888) és *Karl Olszewski* 1882 óta nagyobb mennyiségben cseppfolyósítottak állandó gázokat; *Olszewski* e folyékony gázok kritikus hőmérsékletét és sűrűségét is meghatározta és azt találta, hogy a folyékony oxigén krit. pontja -118.8 C^0 , sűrűsége -181.4 C^0 mellett 1.124 , a folyékony nitrogén krit. pontja pedig -146 C^0 és sűrűsége -194.4 C^0 mellett 0.885 ; folyékony hidrogént *Olszewski*-nek -244 C^0 mellett a közönséges lényomás alatt 1895-ben meg -211 C^0 mellett és 190 at nyomás alatt sikerült nagyobb mennyiségben előállítania. *James Dewar* (*1842) 1890-ben a folyékony gázok eltevésére alkalmas kettős falu edényeket találta fel, *Karl von Linde* (*1842) pedig 1895-ben az általa szerkesztett hűtőgépet ismertette.

1896-ban *William Ramsay* (* 1852) felfedezte a folyékony levegőben az argon, neon, kripton és

xenon nevezetű gázokat, melyek közül *Olszewski* már 1898-ban az argont cseppfolyósította; egyszersmind elérte a hidrogén cseppfolyósítását az eddig elért legnagyobb hideg: -271.3°C mellett 180 at nyomás alatt (1906). Az ugyancsak *Ramsay* által 1895-ben a clevéitben felfedezett héliummal is kísérletezett, de hasztalanul; *Kamerlingh Onnes* (*1853) és *Keesom* azonban ezt is cseppfolyósították.

A kritikus hőmérséklet és a gáz és cseppfolyós test közötti átmeneti halmazállapot elméleti megfontolás tárgyává is tétetett; *von der Waals* 1873-ban és 1881-ben értekezett e tárgyról, *J. B. Hannay* a nyolcvanas évek elején a testek négyféle halmazállapotát különböztette meg, *Jules Cèlestin Jamin* (1818–1886) pedig 1883-ban a kritikus pontot úgy definiálta, mint azt a hőmérsékletet, mely mellett valamely folyadéknak és telített gőzének ugyanaz a sűrűsége van, bár ezt már *Ramsay* is kimondta 1880-ban.

A szilárd testeknek közvetlenül gázzá való átalakulásáról — amiről már *Clausius* is tett említést 1857-ben — *Lothar Meyer* (*1830) 1875-ben kísérletileg kimutatta, hogy a közvetlen átmenet csupán a nyomástól függ. *Thomas Carnelley* 1880-ban a kritikus nyomásról szóló tételét tette közzé: hogy szilárd testet cseppfolyóssá átváltoztathassunk, a nyomásnak bizonyos ponton felül kell lennie, melyet kritikus nyomásnak nevezhetünk és amelyen alul bármily nagy meleg sem képes az illető anyagot megolvasztani, az előző években végzett kísérletek alapján pedig két testre nézve meg is adta a kritikus nyomást: higanykloridra 420 mm és jégre 4.6 mm; ezeken felüli nyomás alatt tehát e testek a hevítésnél megolvadnak, az azoknál kisebb nyomás alatt pedig elillannak. A szilárd és cseppfolyós halmazállapot közötti átmeneti: puha és félig folyékony állapotokat viszont *L. Pfaundler* (*1839) tanulmányozta és 1876-ban tett első ízben azokról jelentést.

A folyadékoknak túlhevítését és túlhűlését *L. Dufour* (*1832) tanulmányozta 1861-től kezdve. *Paolo Volpicelli* (1814–1880) pedig 1871-ben azokat a hőmérsékleti változásokat vizsgálta, melyek légáramlatoknak szilárd testekre való hatásánál keletkeznek. A gázok differenciájánál előálló hőmér-

sékletváltozásokat szintén *Dufour* figyelte meg 1872-ben, míg *Berend Wilh. Feddersen* (*1832) 1873-ban az ú. n. termodiffúziót mutatta be (egyenemű, de különböző hőmérsékletű gázok közül a hidegebb hatol az őket elválasztó likacsos falon át); *Reynolds* behatóbban tanulmányozta a jelenséget, megállapította törvényeit és levonta belőle a gázok molekuláris szerkezetét (1879, 1880). *Charles Soret* ugyanebben az időben a folyadékok termodiffúzióját tanulmányozta.

Az új hőtani felfogás a hővezetés tüzetesebb ismeretét tette szükségessé, mely irányban *A. Paalzow* (1823–1893) eszközölt újabb méréseket 1868-ban; azonban ő is inkább a hő- és elektromossági vezetés közötti kapcsolatra volt figyelemmel és megelégedett e tekintetben a testek egy-egy sorozatával; *Frederick Guthrie* (1833–1886) ugyanebben az időben szintén folyadékok hővezetőképességét mérte, de *Paalzow*étól eltérő eredményeket nyert. *Lundquist* volt az első, aki 1869-ben abszolút mérőszámokat határozott meg folyadékok hővezetőképességére vonatkozólag. *Adolf Winkelmann* (1848–1910) 1874-ben szintén méréseket végzett, de más számokat kapott, mint *Lundquist* Új mérések eredményét és egyszersmind matematikai összefüggéseket *H. Fr. Weber* (1843–1911) tett közzé 1879-ben

A gázok hővezetőképességének meghatározása kevesebb nehézségekbe ütközött, mert a kinetikai gázelmélet alapján képletet is tudtak megadni: *Maxwell* 1860-ban, *Clausius* 1862-ben ugyanazt a képletet vezették le elméleti uton:

$$l = a \cdot \eta \cdot C_v,$$

hol l tehát a vezetőképesség, η a belső surlódás koefficiense, a pedig egy az illető gáztól függő állandó. Minthogy a C_v más módokon meghatározható, a gázok hővezetőképességét rendszerint számítás útján határozták meg: közvetlenül kísérletileg csak *Magnus* törekedett 1860-ban ez értékek megállapítására, melyeknek egész sorozatát nyerte. *F. Narr* (*1844) hűtési módszerrel határozta meg különböző gázok relatív hővezetését 1871-ben, *Josef Stefan* (1835–1893) pedig az abszolút értékeket 1872-ben; méréseivel egyeztek még *Winkelmann*, *Kundt* és

Warburg mérései is (1875). *O. E. Mayer* 1877-ben a képletet ily értékkel adta közre :

$$l = 1.53 \eta \cdot C$$

és összeállította a számítás és kísérlet útján nyert értékeket. *Leo Grätz* (*1856) 1881-ben viszont az előbbiektől eltérő eredményeket kapott.

Fontos kérdés a hőtanban a testek fajhőjének a hőmérséklettel való változása. Erre vonatkozólag *Eilhard Wiedemann* (* 1852) vizsgálatai jártak eredménnyel 1876-ban, amennyiben megállapították azt, hogy különböző, többatomu molekulákból álló gázoknál a fajhő a hőmérséklet emelkedésével növekszik.

A hőmérés terén is folyik a munkásság az utóbbi félszázadban; régebben *G. Recknagel* (* 1835) és *L. Loewenherz* (1847 – 1892) működtek eredményesen, újabban kitünő vezetés alatt álló intézetek gondoskodnak hőmérőkészülékek előállításáról. A nagy hőmérsékletek mérésére szolgáló pirometerek tökéletesítése *William Siemens* (1822 – 1883) és *Ch. Barns* (* 1850) érdeme.

d) Fénytan.

Az 1859. évet követő időszakot az optika terén a spektrálanalízis hatalmas fejlődése jellemzi. A rohamos lépések egymásutánjának a következőkben iparkodunk vázlatban némi képét nyújtani. Ugyancsak 1859-ben, miután *Bunsen* és *Kirchhoff* a Fraunhoferféle vonalakról szóló korszakalkotó művüket kiadták, az utóbbi egy rövid értekezésben felállította azt a tételt, hogy ugyanolyan hullámhosszúság és egyenlő hőmérséklet mellett minden testnél az emissziós és abszorpcióképesség aránya ugyanaz. 1860-iki *Chemische Analyse durch Spectralbetrachtungen* című közös munkájukban kimutatják, hogy a spektrumban mutatkozó világos vonalak az illető fémek jelenlétének biztos jelei. Ugyane műben jelentést tesznek a céziumnak, mint az alkalikus földfémes csoport negyedik tagjának felfedezéséről. A következő évben *Bunsen* a csoport ötödik tagját, a rubidiumot fedezi fel, *Crookes* pedig a tallium nevű nehéz fémét; *Kirchhoff* ugyanebben az évben az előbbi évben közölt tételét bővebben és szigorubban megokolja; végre pedig ismét mindkét tudós a spektrálkészülék

tökéletesítésében a spektrálvonalak pontosabb megállapítására a skálát tartalmazó harmadik csövet alkalmazza. Egyben a fémvegyületek színekéről kétféle feltevést állítanak fel: a fémek spektrálvonalai vagy teljesen függetlenek a velük vegyült elemektől, vagy pedig a vegyületek a nagy hőben felbomlanak és így a fémek spektrumai kerülnek túlsúlyba; Kirchhoff és Bunsen nemsokára a második feltevés helyességéről győződtek meg, mert többek között a jódgőzőknél mutatkozó abszorpcióvonalak nem voltak láthatók a jódkálium színekében. 1862-ben *Reich* és *Richter* az indiumot fedezték fel a spektralanalízis segítségével. A Nap spektrumának szétzórására *Kirchhoff* már 1861-ben négy flintüvegprizmát használt, *J. P. Cooke* pedig 1863-ban kilenc szénszulfidprizmát. A fizikusok figyelme nagyobb mértékben fordult nemsokára arra a jelenségre, hogy csak izzó gázok adhatnak homogén vonalszíneképet, mert a gázokban az atomok teljesen szabadok, míg ellenben folyékony és szilárd testeknél, melyekben az atomok különbözőképpen függnek egymással össze, különböző színek folytonos spektruma keletkezik. *Plücker* már 1862-ben figyelmeztetett arra, hogy ugyanazok az anyagok is különféle fajú spektrumokat mutatnak, melyek a hőmérséklettől függnek. *Johann Wilh. Hittorf* (* 1824) társaságában végzett kísérletei eredményeképpen 1865-ben azt jelezte, hogy hidrogén, nitrogén, kén-gőz és néhány egyéb gáz csekély nyomás mellett és gyenge indukció-áramban folytonos, árnyékolt mezőkből álló, viszont leydeni palack becsatolásánál sötét közökben világos vonalú spektrumot mutat; amazokat elsőrendű, ezeket másodrendű spektrumoknak nevezte; *Plücker* a másodrendű spektrum keletkezését a magasabb hőmérsékletnek tulajdonítja, melyet a leydeni palack kisülése okoz. *Adolf Wüllner* (1835—1908) viszont 1866—1868 között végzett spektrálanalitikai megfigyelései alapján még egy harmadik spektrumot is vett észre, melyet Geissler-csövekbe zárt, igen kis nyomás alatt lévő gázok szolgáltatnak: a 30 mm-nyi nyomásnál legszebben mutatkozó folytonos spektrum e nyomáson alul vesztített világosságából, a vonal-spektrum három vonala pedig mind élesebbé vált, 2—3 mm-nyi nyomásnál a folytonos spektrum teljesen eltűnt, de a vonalok világosak maradtak, még kisebb

nyomásnál a vonalak tűntek el és ismét a folytonos spektrum egy része volt látható a zöld szín tájékán. *Angström* azonban tagadta azt, hogy más jellegű szinképek származhatnak a nyomás változásával és tüzetes kísérletei után 1871-ben a gázok tisztátalanságával magyarázta *Wüllner* észleleteit. Ez utóbbi folytatta vizsgálatait és most arra az eredményre jutott, hogy a gázok világító rétegeinek vastagságától függ a szinkép változása; *Angström* ennek is ellentmondott és csak azt fogadta el, hogy allotrop módosulásban fellépő testek (pl. oxigén és ozon) mutathatnak külön abszorpciós spektrumot. Egyéb fizikusok a spektrumnak az anyag molekuláris szerkezetétől való függésére irányították figyelmüket a vitában és mindinkább előtérbe nyomult az a felfogás, hogy a spektrum összetett volta az illető test szerkezetének összetett voltával áll kapcsolatban, sőt hogy a spektrumban mutatkozó több vonalból az elemeknek több még egyszerűbb testbőlvaló összetételére lehet következtetni. *Joseph Norman Lockyer* (* 1836) 1873-ban arra az eredményre jutott, hogy minden összetett és minden egyszerű testnek megvan a maga saját spektruma és 1874-ben már kimondta, hogy a vonalspektrumok a szabad atomoktól, a folytonosak pedig a molekuláktól és azok csoportozataitól származnak. *Lockyer* véleményét főleg *James Moser* (1852–1908) támogatta 1877-ben, amikor arra utalt, hogy a Kirchhoff-féle abszorpció-törvény alapján éppen az abszorpciószinképek alkalmasak az allotropikus módosulások megfigyelésére, mert ezek a közönséges hőmérsékletnél nyerhetők; nagyszámu kísérletek után ő is meg *G Ciamician* (* 1857) is megerősíthették *Lockyer* felfogását; *Ciamician*, ki egyébként főleg az alkoholoidokat tanulmányozta, az elemek szinképeit hasonlította össze és arra jutott, hogy a kémiaiag rokon elemek szinképvonalai egyenkint vagy csoportonként felelnek meg egymásnak, e megfelelő vonalak egyszerűen eltolódnak a különböző elemek spektrumaiban, a megfelelő vonalak hullámhossza pedig az elemek kémiai intenzitásával növekszik vagy csökken (1877). *Lockyer* és *William Huggins* (1824–1910) nagy tevékenységet fejtettek ki a Nap és csillagok spektrumainak tanulmányozásában, miközben *Lockyer* azt a gondolatát fejezte ki,

hogy az égő napokban az elemek disszociációja megy végbe és hogy főleg a vas a Napban ósalkotórészeire bomlik fel (1881). Számos fizikus, főleg *Hermann Vogel* azonban meggyengítette *Lockyer* merész következtetését (1882).

A spektrálanalízis mellett és jórészt ennek szolgálatában a fotometria is felmutatott némi haladást. *Johann Karl Friedr. Zöllner* (1834—1882) polarizáció-fotometerével vagy asztrometerével a bolygók relatív fényét mérte a Nap fényéhez viszonyítva és összes fotometriai vizsgálatait az 1859—1866 közötti években közölte. Különböző színek intenzitásait *K. von Vierordt* (1818—1884) hasonlította össze a hetvenes évek elején. *P. Glan* (* 1846) és *Vogel* 1877-ben végeztek hasonló méréseket. *W. Siemens* közben (1875) arra törekedett, hogy ne szoruljon a fényintenzitást megbecsülő szubjektív érzetre és a kristályos szelén elektromos vezetőképességének változását használta fel a fényintenzitás változásának kimutatására; *Zöllner* viszont a fénynek a radio-meterben kifejtett mechanikai energiáját iparkodott a fényintenzitás mérésére felhasználni (1879).

Említésre méltó még az optikai eszközök közül a mikroszkóp tökéletesedése: 1860-ban készítették az ú. n. immerzió-mikroszkópokat, melyeknél a fedőlemez és a tárgylencse között foiyadékot (vizet, glicerint, mákolajat) alkalmaztak, ami a nagyítást jelentékenyen fokozta. Azzal a hittel szemben, hogy még fokozottabb nagyítás érhető el az idők folyamán, *Ernst Abbe* (1840—1905) 1874-ben kifejtette, hogy e tekintetben határok vannak, melyeket a fénysugarak elhajlása állapít meg; azt a legkisebb hosszúságot, melyet a mikroszkóppal még megkülönböztethetünk,

a közönséges mikroszkópnál $\frac{1}{3636}$ mm-nyinek, az

immerzió-rendszerünél pedig $\frac{1}{4848}$ mm-nyinek számí-

totta. A gyakorlati mérések akkor azt bizonyították, hogy ez a határt valóban majdnem elérték, 1903-ban azonban *Siedentopf* és *Zsigmondy Rikárd* (* 1865) fénye'hajláson alapuló eljárással oly „ultramikroszkopikus részecskéket” észleltek, melyeknek átmérője 0 000 005 mm.

E helyen utalhatunk arra, hogy az optikai rácsok milyen fontos és gyümölcsöző szerepet játszanak a fényelhajlási tűnemények megismerésében; a legutóbbi években (1904–1909. *Fröhlich Izidor* (* 1853) rácsok segítségével vizsgálta a polarizált fényt és eldöntötte azt a kérdést, — vajjon a fényvektor a polározás síkjában avagy az arra merőleges síkban fekszik-e? — abban az értelemben, hogy a fényrezgés iránya a polározás síkjára merőleges.

e) Elektromosság.

Az utolsó félszázadban rendkívül intenzív munkásság folyik az elektromosság terén, mind az elméleti, mind a gyakorlati irányban, amelyekben elért eredmények gyakran a legszorosabb kapcsolatban függenek össze egymással.

A XIX. század hetvenes éveinek elején élénk tudományirodalmi eszmecsere folyik az indukció elmélete körül, mely tekintetben *Wilhelm Ed. Weber*, *Maxwell* és *Franz Ernst Neumann* (1798–1894) képviseltek ilyeneket. Az indító okot e nagy szellemi tevékenységre *Helmholtz* adta meg, aki 1870-ben két áramelem potenciálja számára általános kifejezésre törekedett, amely az eddigi törvényeket, mint speciálisokat magában foglalja. A fogalmak tisztázása még nagyobb munkásságot eredményezett, melyben a tudomány elsőrendű művelői vettek részt, mint még *Clausius*, *Carl Neumann* (* 1832), *Zöllner*, *Erik Edlund* (1819–1883) és *G. W. Hankel* (1814–1898). A leghatalmasabb és a modern természettudományi felfogásnak irányt adó eredmény *Maxwell* elmélete volt, mely a fény és elektromosság szoros összefüggésén alapul (1873). Ez összefüggés főleg három kapcsolatban nyilatkozik meg: 1. a fény terjedési sebessége egyenlő a nem vezetőkből előálló elektromagnetikus zavarok elméleti uton nyert sebességével és hogy ugyancsak a fény terjedési sebessége az elektromagnetikus egységeknek az elektrosztatikus egységekhez való viszonyával is egyenlő; 2. a fény legnagyobb hullámhosszára nézve a törésmutatónak az illető közeg dielektricitási állandójának négyzetgyökével kell egyenlőnek lennie (amit a paraffinra vonatkozólag ki is mutattak); 3. a mágnesség közvetlen hatásának a fény polarizáció-síkjára való nyilván-

valósága; ez alapon indul is ki *Maxwell* elmélete, mely a fényt elektromagnetikus zavarnak minősíti.

Az elméletek kialakulása mellett a kísérleti tanulmányozás is mind szélesebb körben terjed. Elsősorban a légüres vagy légritkított térben történő elektromos kisülés érdekelte a fizikusokat; ez a jelenség egyszersmind az elméleti fejtegetésekkel állott összefüggésben. Minthogy a gázok ritkítása mellett azok elektromosságvezető képessége növekszik, oly nézet is kezdett tért foglalni, hogy tehát az abszolút légüres tér volna a legtökéletesebb vezető. Ezzel szemben azonban az az észlelet döntött, hogy a ritkulás bizonyos fokánál a vezető-képesség maximuma mutatkozik. A hatvanas években a kutatások nagy mértékben abban az irányban folytak, hogy e maximum megtaláltassék; *Aug. de la Rive* (1801--1873) pl. 1866-ban 2.5 mm-nyi nyomásnál vélte azt a hidrogénnél megállapíthatni. A jelenséget elméleti fejtegetések tárgyává is tették, ami annál nagyobb érdeket keltett, hogy a molekulák mozgása és az éterrezonancia került egymással kapcsolatba. Ugyancsak a hatvanas évek közepére esik az anód- és katódfény közötti különbség gondosabb megfigyelése; a tűneményt már *Faraday* fedezte fel 1838-ban, *de la Rive* kísérleti kutatások tárgyává tette (1867), *G. Wiedemann* (1826—1898) és *R. Rühlmann* pedig elméletileg fejtegették (1871). *Hittorf* is nagyszabásu apparatussal végezte tudományos kutatásait a Geissler-féle csövekben mutatkozó fény jelenségei körül (1869), de a legnagyobb figyelmet *Crookes* keltette fel 1878-ban a „sugárzó anyag” tűneményeivel: ő ugyanis úgy látta, hogy ily nagy mértékben ritkult térben a gázmolekulák másokkal való összeütközés nélkül közvetlenül az egyikelektől a másikhoz sietnek, még pedig a katódtól nagyobb sebességgel semmint az anódtól. A sugárzó anyagnak egyszersmind a következő jelenségeit észlelte: 1. foszforeszkáló hatást gyakorol; 2. egyenes vonalban terjed; 3. szilárd testek mögött árnyékot vet; 4. mechanikai hatást fejt ki; 5. mágnes hatása alatt kitér; 6. hőt fejleszt. *E. Goldstein* 1880-ban *Crookes*-nak a molekulák ú. n. szabad úthosszának való felvételében tett némi rektifikációkat, ugyanekkor *W. F. Gintl* (1804—1883) és *J. Puluj* is kialakították az idevonatkozó elméleteiket, ugyszintén *E. Wiede-*

mann is, ki azonban elvetette azt a nézetet, hogy a katódsugarakat tovarepülő anyagi testecskék okozzák, hanem azokat tisztán fénysugaraknak tekintette. A „sugárzó anyag” fogalma úgy sem talált nagyobb népszerűsége és hitelre, azt inkább a Newton-féle emisszió-elmélethez való visszaesésnek tekintették; *Heinrich Hertz* (1857—1894) 1892-iki demonstrációja pedig, hogy a katódsugarak vékony fémlemezeken is áthatolnak, teljesen döntött az anyagi elmélet elejtése irányában. *Perrin* azonban viszont 1895-ben kimutatta, hogy a katódsugarakat negatív elektromosság töltésű anyagi részecskék, molekulák: elektroniók viszik. *Jos. John. Thomson* (* 1856) pedig 1897-ben a katódsugarakra vonatkozó mérésbeli vizsgálatokat végezte és a részecskék sebességét másodpercenkénti 36 000 *km*-nek találta, mely nagy sebesség azt a körülményt is megmagyarázta, hogy ily nagy sebességgel igenis áthatolhatnak vékony (egészben is csak 0.001 *mm*-nél vékonyabb) fémlemezeken. A jelzett 36 000 *km* azonban középsebességnek tekintendő, a szélső sebességek 30 000 és 100 000 *km*. *Thomson* azonban még egyéb bámulatos számbeli eredményeket is nyert kísérleteiből és elméleti megállapításaiból. Az *m* tömegű és *e* töltésű elektron sebességét ebben a képletben fejezte ki:

$$v = \sqrt{2 V \cdot \frac{e}{m}},$$

hol *V* az ú. n. katódpotenciál. Az $\frac{e}{m}$ hányadost pedig összeszméréseinél állandónak találta 18 000 000 értékben, ami tehát óriási elektromos töltésre vall: ez ennél fogva azt jelenti, hogy 1 *g*-nyi elektrontömeg 18 000 000 elektromágneses egységű elektromossággal töltött; minthogy pedig az elektrolizisnél 1 *g*-nyi hidrogéntömeg 9654 elektromágneses egységű elektromos mennyiséget visz, egy elektronmennyiség nagyjában 2000-szer több elektromos mennyiséget szállít, mint a vele egyenlő hidrogéntömeg: ebből tehát azt következtethetjük, hogy egy elektron tömege a hidrogénatom tömegének 2000-edrésze. *Thomson* kísérleteiből az is megállapítható, hogy minden ion töltése 3.10^{-10} elektrosztatikus egységű. *Lenard*

Fülöp (* 1862) 1894-ben a katódsugarakat kivitte a szabadba és kimutatta, hogy azok nyomot hagynak a fotografáló lemezen is. *Wilhelm Conrad Röntgen* (* 1845) 1895-ben felfedezte az X-sugarakat, melyek foszforeszcenciát létesítenek, ugyancsak fotokémiai hatásuak és nagy áthatolóképességűek; ez utóbbi két tulajdonsága tette alkalmassá e sugarakat oly gyorsan orvostudományi vizsgálatokra. *Goldstein*, akitől a „katódsugarak“ elnevezése is származik, már 1886-ban fedezte fel a csősugarakat, melyek az anódból kiinduló, pozitív töltésű atomiónoknak bizonyultak; a pozitív elektromokat azonban, melyeket ezek az atomiónok magukkal visznek, oly nagyságú tömegeknek minősítették, mint a közönséges atomokat; ez utóbbi eredmények megszerzése azonban már főleg *Wilhelm Wien* (* 1864) érdeme (1898). A csősugaraknak optikai tulajdonságait *Joh. Stark* (* 1874) vizsgálta, aki 1905-ben felfedezte, hogy e sugarak spektrumában a Doppler-féle hatás mutatkozik: a csősugarakban világító gáz spektrumvonalai ugyanis eltolódnak a spektrum ibolya vagy vörös színe felé, aszerint, amint a csősugarakkal szemben vagy azok irányában nézünk, ami arra mutat, hogy a repülő pozitív ionok a fénykibocsátó részecskék. Ugyancsak az anódból kiinduló pozitív töltésű sugarakat fedeztek fel 1906-ban *Gehrke* és *Reichenheim*, ha az anód valamely megolvadt sóból töltött üvegcső; ezeket a sugarakat, melyeket a mágnes szintén eltérít, egyszerűen anódsugaraknak nevezték.

Ezek az új jelenségek, a sugárzás tünetényei fontos fordulatot adtak az elektromos tünetényekről való felfogásnak: mindinkább több alapot nyújtanak az elektromosság anyagi felfogásának; ami valaha bizonyos könnyebb kifejezési módnak, hipotetikus segédeszköznek, inkább csak szimbolikus érzékeltetési magyarázatnak tűnt fel, az mind több és több reális támasztási pontra tesz szert, elméleti megfontolások végeredményének, sőt kísérleti bizonyosságokból tápot nyerő megfejtésnek látszik. Az emisszió-elmélet régi jelentőségét vissza kezdi nyerni, amennyiben a fény és az elektromosság között oly váratlan nagy kapcsolat lett nyilvánvalóvá, az elektromossági tünetények legnagyobb részét pedig éppen ez az újabb anyagvándorlási elmélet magyarázza.

Az új ión elmélet az elektrolízis tüneteinekhez kapcsolódik. A Grothuss-féle elméletet (89. lap) *Clausius* 1857-ben úgy módosította, hogy az elektrolit folyadékokban illető oldott vegyület molekulái máris maguktól bomlanak fel, illetőleg a szétbomlás és újból való egyesülés állandó stádiumában vannak, az elektromos áram pedig nem tesz egyebet, mint hogy e „disszociált” molekulák alkotó részeit, az iónokat egy-egy sark felé tereli. *Hittorf* is az iónok vándorlása alapján bocsátott ki nagyobb művet 1856-ban. *Helmholtz* szintén disszociáltaknak vette fel a molekulákat, de minden iónt bizonyos elektromos mennyiséggel töltöttnek minősítette, mely esetben mint önálló, szabadon mozgó, a kémiai erők által nem befolyásolt kation vagy anion fennállhat; az elektromos áram pedig az elektrolízis alkalmával az elektromos töltésű iónt megszabadítja elektromosságától (1880). *Aug. Svante Arrhenius* (* 1859) végre az elektrolit folyadékoknak új n. disszociáció-fokát állapította meg saját elektrolitikus elméletében (1887); szerinte ugyanis az elektrolit folyadékokban oldott anyagnak csak egy bizonyos meghatározott törtrésze van disszociált állapotban: e törtrész az elektrolit disszociáció-foka, mely az oldat koncentrációjától függ: minél csekélyebb ez, annál nagyobb amaz, ha nagyon csekély a koncentráció (az oldat nagyon híg), a disszociáció foka az 1-et is elérheti vagyis akkor az összes molekulák disszociáltak. Az elektrolitikus folyamatot ő is és vele együtt *Wilhelm Ostwald* (* 1853) és úgy magyarázza, hogy a pozitív iónok a katód felé, a negatívek pedig az anód felé vándorolnak. Az új elmélet keretében végzett mérések az átszállított elektromos mennyiségekre és az iónok sebességére terjedtek ki, mely utóbbiakat a kationra vonatkozólag másodpercenként 0.032, az anionra vonatkozólag pedig 0.0085 mm értékűeknek találtak. Az iónelméletet nagyban támogatták a ritkított gázokban mutatkozó elektromos áramlások jelenségei is.

Az iónhoz kötött elektromos töltés fogalma is mind realisabb alakot öltött és alapul szolgált az *elektronelmélet* kiépítéséhez. Az elektrolízis tüneteinek és a sugárzás jelenségei ugyanis arra a felfogásra vezettek, hogy az atomok elektromos töltése a szó alapértelmében vett elektromos töltés: hogy az anyagbeli legkisebb részecskékhez, az

atomokhoz az elektromosságbeli legkisebb részecskék, az elektronok mintegy hozzátapadnak. Az elektront tehát így definiálják, hogy az az elektromosságnak igen kicsiny, de határozott mennyiségű, tovább fel nem osztható része, mely vagy valamely ión elektromos töltése vagy pedig szabad állapotban (pl. a katódsugarakban) is előfordul. Mérések arra vezettek, hogy egy negatív elektron a hidrogénatomnak kb. 2000-ed része (130. l.), egy pozitív elektron pedig, mely azonban mindig csak az anyagnak legalább egy atomjával való kapcsolatban mutatkozik, nagyjában a hidrogénatommal egyenlő tömegű. Mindazonáltal nem szabad az elektronokat anyagnak minősíteni, hanem a tudományos nyelvezet ezzel a kifejezéssel él, hogy az elektron az anyagnak vagy az éternek valamely különös, lokalizált állapota. Az elektromosan közömbös testekről pedig az elektromelmélet felteszi, hogy azokon egy pozitív és esetleg több negatív elektron tapad; ha negatív elektron vagy elektronok különböző energiák hatása alatt leválnak az atomról, a pozitív töltésű anyagi rész-marad hátra; a negatív elektromosságot tehát a negatív elektronok megszaporodása, a pozitív elektromosságot pedig a negatív elektronok fogyása idézi elő.

Az elektronelméletre azok a részint elméleti, részint kísérleti tanulmányok vezettek, melyek az optikai és elektromossági tünemények oly szoros kapcsolatát derítették ki. Az új elmélet gyökereit tehát *Maxwell* tisztán matematikai természetű megállapításaiban (128. l.) kell keresnünk. 1888-ban *Hertz* igazolta kísérletileg a *Maxwell*-féle elméletet: kimutatta, hogy az elektromos hullámok oly törvények szerint terjednek, mint a fényhullámok; az összes kísérleti tapasztalatok teljesen igazolták *Maxwell* elméleti feltevéseit: a fény terjedése elektromágneses folyamatnak bizonyult és így feltehető, hogy a fény keletkezése is elektromágneses rezgéseken alapul. *Hendrik Antoon Lorentz* (* 1853) is már 1880-ban teljesen az elektromágneses optika álláspontját foglalta el, megjósolta azt, hogy a spektrálvonaloknak külső mágneses erők behatása alatt változást kell mutatniuk és 1895-ben kifejtette az elektromos és optikai jelenségeknek az elektronelméleten nyugvó kapcsolatát. *Pieter Zeeman* (* 1865) már 1896-ban

bemutatta a nátriumvonaloknak erősödő mágneses mezőben való szélesedését és szétválását; az ú. n. Zeeman-féle hatás tehát az elektronelméletet is megszilárdította.

Azonban a legutóbbi években történt felfedezések is az elektronelmélet helyességét tették nyilvánvalóvá: a radioaktivitás tünetei ezek. A Röntgen-sugarak és a fluoreszcencia kapcsolatát tanulmányozta *Henri Becquerel* (* 1852) 1895-ben és a következő évben már annak nyomára jött, hogy uránvegyületek minden idegen behatás nélkül a fotografiai lemezt megfeketítik; kitűnt, hogy e jelenség nem áll kapcsolatban a fluoreszcenciával, hanem hogy az uránvegyületek sugarakat bocsátanak ki, melyek a Röntgen-sugarakkal annyiban hasonlatosak, hogy átlátszatlan testeken áthatolnak és a levegőt elektromos vezetővé teszik; e sugarakat urán- vagy Becquerel-sugaraknak nevezték el, különös hatásukat pedig radioaktivitásnak. Bár eleinte kétkedéssel fogadták az új jelenségeket, mert a radioaktivitás „magából” táplálkozó, szüntelenül fakadó energiaforrásnak mutatkozott, mégis mind többen vizsgálat alá vetették azokat. *J. Pierre Curie* (1859–1906) és neje, *Marie Skłodowska—Curie* (* 1867) a szurokércben találtak az urán eltávolítása után egy nagy mértékben radioaktív új elemet, melyet poloniumnak neveztek el (1898), félévvel később pedig *Bémont*-nal együtt még egy újabb elemet sikerült felfedezniük, melynek a „rádium” nevet adták és melynek radioaktivitása kb. milliószor nagyobb az uránénál. A rádiumnak klór- és brómvegyületét sikerült előállítaniok és az atomsúlyát meghatározniok, melyet 225-nek találtak, *Démarey* pedig a szinképét tanulmányozta. A radioaktivitás maga négy főhatásban nyilvánul: 1. a fotografáló lemezre úgy hat, mint a napfény; 2. arra alkalmas anyagokat (pl. báriumvegyületeket) foszforeszkálókká tesz; 3. levegőt és más gázokat jó elektromos vezetőkké tesz; 4. hőt fejleszt. A radioaktivitásnak főleg ez utóbbi tulajdonsága szinte megdöbbenést keltett a tudományos világban: hiszen akkor megrendül az egyik természet-tudományi alaptétel, hogy energia nem származhatik semmiből. Kritikai megfontolások azonban már ismét nyugalmat teremtettek e kérdésben: a rádium bizonyos mennyiségében éppen egy bizonyos

mennyiségű, de véges energiakészletet kell látnunk, mely ugyan az anyagmennyiséghez viszonyítva igen tetemes, de semmiesetre sem végtelen; gondoljunk csak a robbanó anyagokra, pl. 100 g dinamitból is mekkora energiamennyiség válik ki a robbanáskor! A rádiumról nemsokára kitudódott, hogy háromféle: α -, β - és γ -sugarakat lövel ki; az α -sugarak teszik jó elektromos vezetőkké a gázokat és legnagyobb-részt okai a hőfejlesztésnek, nagy kinetikai energiájuk van, (30 000 km-nyi sebesség másodpercenként), de csekély áthatoló képességűek, mágnes hatása alatt csekély mértékben térnek el; a β -sugarakat szabad katódsugaraknak kell tekintenünk, tehát negatív töltésűek, sebességük kisebb, de áthatoló képességük igen nagy, a legnagyobb fotografiai hatást gyakorolják, a mágneses hatás alatt nagyon elhajlanak az α -sugarakéval ellentétes oldal felé; a γ -sugarak áthatoló képessége a legnagyobb és nem térnek el mágneses behatás alatt. A rádiumsugarak töltésére és sebességére vonatkozó méréseket *G. Kaufmann* végezte, a rádium bomlási, átváltozási folyamatait pedig *Ernest Rutherford* (* 1871) és *Frederick Soddy* tanulmányozták a XX. század első éveiben: 1903-ban *Ramsay* és *Soddy* már megállapították, hogy a rádium héliummá változik át.

Vissza kell térnünk a Hertz-féle felfedezésekre ama körülmény alapján, hogy óriási gyakorlati következményekkel jártak, melyek az emberi elme egyik legnagyobb tudományos diadalát jelentik. *Hertz* az ú. n. elektromos rezonátorával (egy négyszögben hajlított drótvezetékkel, melyben alkalmasan beigazított hosszúságnál az ú. n. mellékszikrák lépnek fel) mutatta ki az elektromos hullámok létezését. Sokkal érzékenyebbnek mutatkozott azonban az elektromos hullámok kimutatására az *Edouard Branly* (* 1846) által 1890-ben felfedezett „fritter“, melyet *Oliver Lodge* (* 1851) használt erre a célra 1894-ben és melyet „koherer“-nek nevezett el; a koherer kis üvegcső, mely közepén kb. 2 mm-nyi vas- vagy nikkelreszelékréteget foglal magában; a fémreszelék óriási ellenállást fejt ki a bekapcsolt árammal szemben, azonban ellenállása rögtön csökken, mihelyt elektromos hullámok érik: a részecskék között elektromos olvadás következtében bizonyos összekötő szálak keletkeznek, melyek az egész fémpor-

tömeget összefüggésbe, kohézióba hozzák, „kohérálják“. *Guglielmo Marconi* (* 1874) érdeme, hogy az elektromos hullámok hatását a telegrafálás céljaira vette igénybe: 1897-ben a 14·5 km széles bristoli csatornán át küldte szikratáviratát, 1899-ben pedig már a calaisi csatornán át 46 km-nyire. A drótnélküli távirás további tökéletesítése az ú. n. antennák alkalmazásában és helyes méretezésében állott; az antennák működése ugyanis az elektromos rezonancia tüneményén alapul, amit *Braunnak* és *Slabynak* sikerült kimutatnia. Miután *Marconi* megismerte az antennák szerepét, 1902-ben sikerült egy 1600 km-nyire levő hadihajóra telegrafálnia, majd Anglia és Olaszország között 1000 km-nyire elterülő szárazföldön át, végre pedig ugyanannak az évnek december 22-ikén az első drótnélküli telegrammot, az első „marconigramm“-ot a kanadai Cap Bretonból az angolországi Cornwall-fokon levő Poldhu felvő állomására küldenie 3000 km-nyi távolságra. *Marconi* a tudománynak egyik már sokak által előkészített ágában működött és így az elért eredmények nem kizárólagosan az ő nevéhez fűződnek, mindazonáltal nagyok az érdemei, mert a gyakorlati életnek, az emberiség tudományos haladásában tett szolgálatot és ezáltal nevét máris a XX. század első feltalálói között megörökítette.

A modern technika egy másik nagyjelentőségű vívmányának, az elektrotechnikának eredete is a fizika történetébe tartozik. A mechanikai munkának elektromos árammá való átváltoztatása rendkívül csábító problémája volt a tudomány munkásainak, számottevő eredmények azonban csak a XIX. század hatvanas éveiből jelezhetők. *Werner Siemens* 1855-ben szerkesztett dinamoelektrikus gépet, mellyel az áram lökésszerűségét iparkodott megszüntetni, de kevés sikert ért el. *Jedlik Ányos* (1800—1895) 1856-ban ismertette már 1829-ben felfedezett elektromágneses gépét, de mivel e tekintetben mégis már lényegesebb haladás volt észlelhető, találmánya nem jelentett fordulópontot. Nagyobb jelentőségű volt az *Antonio Pacinotti* (1841—1912. által 1860-ban feltalált gyűrű, mely ugyan eleinte nem nagy figyelmet keltett. Mikor azonban *Siemens* 1867-ben kimondta az ú. n. dinamoelektromos elvet, *Zénobe Théophile Gramme* (1826—1901) ezen az alapon Pacinottitól függetlenül alkal-

mazta a gyűrűt (1868), melyet évtizedeken át róla neveztek el. A gyűrűt 1872-ben *Friedrich von Hefner-Alteneck* (* 1845) ú. n. dobarmaturával (Trommel-anker) helyettesítette. A dinamogépekre vonatkozó első elméleti művet O. *Fröhlich* bocsátotta közre 1886-ban. A dinamogépek további fejlődésének leírása elektrotechnikai művek feladata, e helyen még csak mint érdekesebb adatot azt említjük meg, hogy 1879-ben mutatták be az első elektromos vasutat és hogy 1903-ban Berlin közelében óránkénti 200 km-nyi sebességet értek el villamos vasuttal.

Ugyancsak nagy gyakorlati szerepük van az akkumulátoroknak, melyeknek feltalálója *Gaston Planté* (1834–1889) volt, aki először használta az összezsavart ólomlemezeket 1860-ban, de csak 1879-ben lépett a nyilvánosság elé ily ólomakkumulátor szerkezetével, amikor egyszersmind az abban végbemenő folyamatok magyarázatát is megadta. Nagyobb figyelemre azonban csak akkor méltatták az új találmányt, amikor *Camille Faure* 1881-ben a hasábalaku üvegedényekben álló ólomlemezeket miniummal és egyéb oxigéntartalmú ólomvegyületekkel bekente és szintén 1881-ben *Volckmar* a rácsos lemezű akkumulátorokat feltalálta.

Az elektrolízisen alapuló galvanoplasztika és galvanosztégia, az elektromos olvasztások és forrasztások, a villamos világítás és sok egyéb gyakorlati téren elért eredmények ismertetése szintén a megfelelő elektrotechnikai szakmunkák körébe vág és így kikapcsolódik a tisztán természettani szempontból tekintő tudománytörténeti munka anyagából.

f) Anyag szerkezete, éterelmélet, természetfilozófia.

A kísérleti tevékenység mellett, melyet a természettudósok nagy része a természeti törvények felderítése és összefüggésük megismerése céljából kifejtett, mindig megvolt az a vágy, hogy a természet rejtelmeibe: az érzékeinknek hozzáférhetetlen mikrokozmoszba és a végokok lényegébe legalább némi betekintést nyerjünk.

A XIX. század közepén *Christoph Heinr. Dietrich Buys-Ballot* (1817–1891) adott annak kifejezést, amit a tudósok addig mint elméletet kialakítottak: tömeg- és éteratomokat kellett felvenni, melyek

közül az utóbbiakról azt tételezték fel, hogy a tömegatomok közeit betöltik, a hő a tömegatomok keresztrezgése, a sugárzó hő az éteratomok álló hosszrezgése, az elektromosság a tömegatomok álló hosszrezgése, viszont az éter haladó hosszrezgése a sugárzó elektromosság. Az atomoknak felváltva mutatózó vonzási és taszítási erejét matematikai képletben igyekeznek kifejezni:

$$f(x) = -\frac{a}{x^2} + \frac{b}{x^3} - \frac{c}{x^4} + \frac{d}{x^5} - \dots, \quad "$$

hol x a távolság, $a, b, c, d, \dots$ pedig az atomok alakjától függő állandók; ily módon a távolság változásával tényleg esetleg váltakozó pozitív és negatív, közben 0 értékű $f(x)$ állhat elő. A képlet ugyan tetszetős, de fizikailag még sem fejt meg a kérdést: az a feltevés, hogy két atom között annyi erő működjék, mint ahány tagot kell a sorban felvenni, nem olyan nagyon könnyen belátható és elfogadható. Az atomelmélet teljes kiépítését *Gustav Theodor Fechner* (1801–1887) kísérelte meg 1855-ben *Die physikalische und philosophische Atomenlehre* című művében, melyben kifejti, hogy minden anyag és pedig épp úgy a súlya mérhető, mint az éter vagyis „a mozgások szubsztátuma, melyeken a fény, a sugárzó hő, a mágnesség és az elektromosság jelenségei alapulnak“, atomokból áll; a műben feldolgozott anyag, mely az elmélet kifejtéséhez alapul szolgál, az érvelés, mely az elméletet támogatja és az okfűzést erősíti, korának tudományos magaslatán állónak mutatja be Fechner-t; meglepő azonban, hogy miután egy helyen így nyilatkozik: „Az utolsó atomok távolságáról csak annyi bizonyos, hogy az igen nagy az illető atomok dimenzióihoz viszonyítva. Az atomok abszolút dimenzióiról, sőt vajjon az utolsó atomoknak vannak-e megadható dimenzióik, semmi sem ismeretes“, mégis végeredményképpen az atomokat kiterjedés nélküli erőpontoknak veszi fel. Egyébképpen azonban nem engedi fikciónak tekinteni az atomokat, hanem azok „a megadott dolgok megszerkesztésére szükséges, a megadott dolgok határképzete“, reálitásuk bizonyítéka pedig abban a „matematikai szükségszerűségben“ áll, mely őket használni kénytelen. Különböben egyszerű, világos stílusából szolgáljon a követ-

kező részlet mutatóványul: „Nevezzük bár az egyszerű lényeket anyagi pontoknak, erőközeppontoknak, pontjellegű intenzitásoknak, szubsztanciális egységeknek egyszerű reáliáknak, monádoknak, a név közömbös. Természetüket, jelentőségüket, alkalmazásukat és értéküket azonban az és éppen csak az határozza meg, hogy mint a kimutatható tulajdonságokkal felruházott objektive (érzékileg külsőképpen) felfogható tértartalom szétbontásának határa lépnek fel.“ Az erőre vonatkozólag ezt mondja: „Az erő az anyagok törvényszerű vonatkozásán nyugszik“ és „Az erő a fizikára nézve általában semmi egyéb, mint kisegítő kifejezés az egyensúly és a mozgás törvényeinek leírására, melyek anyagnak anyaggal való szembenállásánál érvényesek.“ E meghatározásokkal természetesen semmiféle megvilágítást nem nyújt és haladást nem mutat fel Fechner az erő mibenlétének kérdésében. Az erők titkába Robert Grassmann (1815—1901) is törekedett behatolni, de bőséges nomenklaturával súlyosbított, bonyolódott, szinte már kalandos atomelmélete (1862) kevés hatással járt. A hatvanas évek tudományos felfogása különben is kezdte elejteni a dinamikai atomisztika álláspontját és több bizalommal tekintett a kinetikai atomelmélet felé, melyet Ludwig Ferd. Wilhelmy (1812—1864) már 1851-ben megpendített és amely téren a kinetikai gázelmélet váratlanul bámulatos eredményeket ért el (120. l). Clausius és Maxwell munkálatai nagy tekintélyt szereztek ennek az elméletnek, melytől azonban később szintén némileg elfordultak, mert az ugyan majdnem teljesen tiszta betekintést nyújtott a gázok molekuláris szerkezetébe és a folyadékokra vonatkozólag is sok jelenséget tisztázott, de a szilárd testek szerkezetét nem tudta kielégítően megvilágítani.

A fizikusok előtt állandóan az a kérdés lebegett, milyenek vagy a súlyamérhető anyag vagy az éter atomjainak mozgásai, melyekből az összes fizikai jelenségek levezethetők volnának. Minthogy az érzékekkel felfogható anyag tapasztalatszerűen a gravitáció jelenségeiben részt vesz amiről súlya tesz tanúságot és az éter szereplését is a gravitációval kell kapcsolatba hoznunk, nem feltűnő, hogy a fizikusok nagy része állandóan a gravitáció mibenlétének tanulmányozására fordította figyelmét

és erejét. Nem meglepő adat tehát az, hogy a XIX. század közepe táján jó néhány elmélet a gravitációra támaszkodik és az éterelméletet ebben a vonatkozásban fejti ki (*John Herapath* 1847: gravitáció és hőmozgások, *F. de Boucheporn* 1849: gravitáció mint önmozgás, *Gabriel Lamé* 1852: kinetikai magyarázat, *J. Waterston* 1858: a tér anyagiséga, *J. Challis* 1859: a gravitáció hulámelmélete, *F. A. E.* és *Em. Keller* 1863 és *Lecoq de Boisbaudran* 1869: az éter hosszrezgése, *Leray* 1869, *W. Thomson* 1872 és *G. Tait* 1877: éterlökésemélet, *Schramm* 1872: kinetikai hőelmélet, *Zöllner* 1872 és 1876: gravitáció és elektromos erők identitása). Nagyon egyszerű magyarázatot adott közre *Ph. Spiller* (1800—1879. 1876-ban, ki az egész világteret atomisztikusan összetett, teljesen rugalmas éterrel betöltöttnek mondta, mely éter minden irányban egyenlő feszültség, nyomás alatt áll. *Spiller* nyugvó éterével szemben *Aurel Anderssohn* a nyomás kiterjedését lökésszerűnek tartja (1880), mely azonban oly gyors, hogy állan dónak lehet tekinteni. Nagy feltűnést keltett *Nikolai Dellingshausen báró* (* 1827, 1884-ben véglegesen kifejtett elmélete, mely az anyagot oly általános, változatlan, súlytalan és *folytonos* szubsztrátumnak jelentette ki, amelyben különbségeket és kölcsönös hatásokat csakis a mozgás létesít; elmélete saját jelzése szerint „kinetikai természetismeret“, mely szerint a világéter álló rezgésű médium, mely kizárólagos potenciális energiája miatt üresnek és ellenállásnélkülinek tűnik fel; az éter nem a gravitáció oka, hanem csak okot ad arra, hogy a testeknek sajátos energiáját kiváltsa: potenciális energiáját az esési mozgás kinetikai energiájává átváltoztassa.

Az anyagelmélettel foglalkozó fizikusok mindinkább annak a meggyőződésüknek adnak kifejezést, hogy az éter és az anyag között szorosabb összefüggés van, hogy bizonyos tekintetben identikusak. *Angelo Secchi* (1818 - 1878) már 1864-ben az anyagi atomokhoz viszonyítva az éteratomok méreteiről és mozgásairól beszél; *C. Isenkrahe* pedig csak azt veszi fel, hogy az anyag atomjai valamelyes módon, akár lényegileg, akár alakilag különböznek az éter atomjaitól (*Das Räthsel von der Schwerkraft* 1879). Az anyag és az éter kapcsolata annyira elfoglalta az elméket, hogy *Tait* és *Balfour Stewart* (1828—

1887) 1865-ben már a tömegmozgás és étermozgás átváltozásának kimutatására is gondoltak: kísérletük abban állott, hogy alumíniumlemezeket lehetőleg légritkított térben forgattak, miközben az éternek a fémlemezek iránt mutatkozó viszkozitása bizonyos mennyiségű hőt fejlesztett volna; az 1870-ig folytatott kísérletek azonban mégsem jártak meggyőző eredményekkel. Az eredménytelenség azonban nem riasztotta el a fizikusokat az éter létezésének és anyagiságának bizonyítására irányuló további kísérleti törekvésektől. Nagy jelentőségű e tekintetben *Albert Abraham Michelson* (* 1852) kísérlete, melyet 1887-ben oly módon végzett, hogy egy fénysugár két részét, melyek közül az egyik a feltételezett éteráramlás irányára merőleges, a másik azzal egyirányu, interferencia tekintetében megvizsgálja. A kérdés t. i. az: vajjon teljesen mozdulatlan-e az éter a világűrben, jelentkezik-e tehát a Föld keringési mozgásához viszonyítva éteráramlás avagy a Föld magával ragadja-e az éternek vele érintkező rétegeit az éter viszkozitásánál fogva? Minthogy interferencia nem mutatkozott, *Michelson* tehát azt a következtetést vonta le, hogy a Föld az egész határos étert magával viszi. Meglepő fordulat azonban akkor állott be, mikor *G. F. Fitz-Gerald* és *Lorentz* 1892-ben egymástól függetlenül az elektromos töltések relativ mozgása alapján éppen az ellenkezőjét magyarázták ki, hogy tehát az éter abszolút nyugalomban van a térben és a Földdel szemben semmiféle viszkozitást sem tanúsít. Ugyanezt az eredményt mutatták ki *Lodge* nagyszabásu kísérletei, melyeket 1891 és 1897 közöttv égzett, szintén interferenciális vizsgálatok alapján. *Lodge* az éterről szóló adatokat saját munkásságával kibővítve és rendszeresítve irodalmilag is összefoglalta, meggazdagítva azt a tudományos irodalmat, melyet többek között *L. B. Lorenz* (1829–1891), *Paul Drude* (1863–1896) — kinek *Physik des Aethers* című műve (1897) kiváló munka — és *William Thomson: Lord Kelvin* (1824–1907) alapítottak meg. *Lodge* 1907-ben foglalta össze az éterre vonatkozó adatokat, melyek közül a legmeglepőbb az, hogy a teljesen összenyomhatatlan éter sűrűségét a századokon át 0-nak vagy majdnem 0-nak gondolt értékkel szemben a vízhez viszonyítva 1 000 000,000 000 értékben álla-

pitja meg; az éterrészecskék mozgását pedig girosztatikus módon tartja magyarázhatónak a *Lord Kelvin* kinetikai vagy rotációs rugalmassága alapján, mely szerint egy folyadék belsejében, amilyen az éter, a rotációs sebességnek a továbbított hullámok sebességével, tehát a fény terjedési sebességével kell egyenlőnek lennie; az éter rotációs energiáját pedig 10^{33} ergnek számítja cm^3 enként. Az éter és anyag és anyag közötti kapcsolatot illetőleg azonban *Lodge* is nagyon óvatosan nyilatkozik: „Az éter kétségtől az anyagi vagy fizikai univerzumhoz tartozik — mondja a világeiterről szóló művében (1909) — de nem közönséges anyag. Sőt szívesebben mondanám, egyáltalában nem anyag. Habár az éter az a szubsztancia vagy szubsztrátum vagy matériale, melyből az anyag alkotva van, mégis csak zavaró és kényelmetlen volna, ha az éter és az anyag között semmi különbséget sem akarnánk tenni.” Határozottabban szól azonban az éter és az anyag lényeges különbségéről, mely abban áll, „hogy az anyag mozog, oly értelemben, hogy helyét megváltoztatni és lökést adni és összeütközni képes, míg az éter feszültségben van és huzást meg visszalökést tud kifejteni. Az éterben van meg az összes potenciális energia. Az éter rezegni és forogni képes de a tovamozdulás tekintetében nyugalomban van — oly tökéletesen, mint semmiféle általunk ismert más test, úgyszólván abszolút nyugalomban; állapota a mi mértékünk a nyugalomra vonatkozólag“.

*

Miután a legújabb kutatásokról, eredményekről, felfogásokról is szó esett, helyén való volna, azt az egységes álláspontot meghatározni, melyet a mai természettan az összes fizikai jelenségek megítélésében elfoglal. Arra való tekintettel, hogy a tudományt manapság már a középiskolába bevezetik, hogy mindenki módot talál, annak művelésében részt venni, hogy a tudományos irodalom nemzetközi kincs, hogy ennél fogva a munkásság egymást elősegítő és kiegészítő, mindez azt a hitet kelthetné az emberiségben, hogy tényleg teljesen megállapodott, tisztult felfogás alakult ki a már századok óta az exaktság útján haladó fizikában. Túlzott optimizmus, sőt felületesség volna azonban, ha ebben a tekintetben

megnyugtadni akaró pozitív választ adnánk. A legkülönbözőbb elméletek kidolgozásán és érvényesítésén fáradoznak ma a tudományos világban, bizonyos feszültség, forrongás, hol várakozásteli reménykedés, hol ismét erős kritikai szkepticizmus mutatkozik e tudomány terén. Nem kell azonban a mai különböző elméleteket és elveket egymással ellenkezőknek, egymást kizáróknak tartani: úgy kell felfognunk azokat, hogy mindegyik a legáltalánosabb érvényre igényt tart, mert szempontját oly magasnak tartja, hogy minden más elméletet és elvet saját rendszerében, mint speciális esetet magában foglaltnak tételez fel.

Az egyik iskola hívei pl. az *energia elvében* iparkodnak az összes természeti jelenségeket kifejezni; ezzel természetesen az járt, hogy az energia fogalma, mely eleinte csak mechanikai kifejezés volt, általánosabb értelemben körvonaloztassék. Az energetika hívei azonkívül az energiát nem csupán elvont fogalomnak tartják, hanem annak reális létezését is tulajdonítanak, objektív létezése szerintük jelentősebb az anyagénál. Az energetika három meggyőző törvényt tudott megállapítani: 1. az energia megmaradásának törvénye (melynek keretein belül csak a hőelmélet második felületének végleges megfogalmazása okoz nehézségeket); 2. az energia megteremtésének (a semmiből lehetetlensége; 3. az energia megsemmisítésének lehetetlensége. Az energetika előfutárai *Sadi-Carnot*, *Mayer* és *Joule*, megfogalmazói *Helmholtz* és *Lord Kelvin*, továbbfejlesztői *Clausius*, *Boltzmann* és *J. W. Gibbs* (* 1839) voltak, jelenlegi képviselői pedig Franciaországban *Henry Louis Le Chatelier* (* 1850) és Németországban *Meyerhofer* meg *Ostwald*.

Egy másik irány mint az *éter fizikája* jelentkezik, mely az optikai jelenségeket is a mágneses és elektromos tűneményekkel tudta kapcsolatba hozni, minthogy a fényt, mint az éter periodikus zavarát magyarázza. Ez az elmélet az étert tekinti a világ-egyetem alapszubsztanciájának és ezzel törekszik az anyagot is magyarázni. Bővebben e helyen nem bocsátkozhatunk e nagyon tudományos apparátussal élő elmélet ismertetésébe; elemibb áttekintést ugyanis iparkodtunk adni előbbi sorokban az elmélet kiépítésében kifejtett munkásságról (141. lap.)

Hasonló módon törekedtünk arra, hogy világos képet adjunk az *elektronelmélet* térfoglalásáról (132. l.); ez az elmélet — mint ismeretes — az elektromosság atomszerű részecskéinek juttatja a főszerepet lehetőleg az összes fizikai tünetmények magyarázatában és ezeket az elektronokat a fizikai anyag és az éter közötti kapcsolatnak tekinti. Az elmélet iránt tapasztalható némi idegenkedés azzal magyarázható, hogy önálló, külön fizikai anyag, éter és elektromosság létezését követeli meg, másrészt azonban nagy szemléltető volta és a mindenkor eléggé csábító emisszió-elméleten való alapulása révén mégis jelentékenyen tért hódít; nem szabad ugyanis figyelmen kívül hagynunk az elektrokémia, a gázokon áthaladó és a fémeken átvezetett elektromosság, valamint a radiológia tünetményeit, mely tereken kiváló eredményekről képes számot adni.

Jelentést kell végre tennünk oly törekvésekről is, melyek a most már gyakran ú n „rég, klasszikus mechanika“ eredményeit teljesen elégtelennek tartják arra, hogy ezen az alapon pl. az elektromosság és mágnesség elmélete felépíttessék. A *relativitási elmélet*ről van szó, melyet egy alkalommal már megemlítettünk (141. l.), de melyre vonatkozólag minden elemi magyarázat kísérletéről le kell mondanunk, oly magas szempontu, oly annyira matematikai jelentőségű, oly annyira a mindenséget összefoglalni törekvő, egyelőre még sok tekintetben titokzatos, szinte félelmetes ez a legujabb elmélet. Semmi állandó, semmi abszolút mértékre vagy fizikai kifejezésre nem támaszkodik, a klasszikus mechanikának minden törvényét csak első közelítésben érvényesnek tartja, minden a klasszikus mechanikában megállapított kifejezés: függvény. A relativitási elmélet megalapítója tulajdonképen Lorentz volt, aki 1904-ben kifejtett elektron-elméletében elvetett minden abszolút mértéket, de mindamellott a nyugvó éter alapjára helyezkedett, ami tehát mégis ellentétben állott minden abszolút álláspont elejtésével. Egy másik nehézség is mutatkozott még, amennyiben az összes relativitási kapcsolatokban a fény és elektromosság hullámainak sebessége, a másodpercenkénti 300 000 km jelentkezik, mint abszolút mérték, miként a hőtani jelenségek matematikai diszkussziójában a -273°C jelentkezik mint abszolút nullapont.

Azt a nagy nehézséget, melyet a természeti jelenségek abszolút mozgásának ki nem mutathatósága és a fénysebesség abszolút voltának kényszerű felvétele okoz, *Albert Einstein* oldotta meg 1905-ben kifejtett relativitási elméletében, mely az ú. n. módosított időfogalom alapján áll és amelyben az előbbi két felvétel látszólagos ellentéte kiegyenlíthető. *Einstein* elméletéből, mint a legmesszebbmenő relativitás példáját megemlítjük azt az összefüggést, mely még a mozgó test méreteit is a sebesség függvényének jelenti ki; ha a nyugvó test hossza l , v nagyságu mozgása esetében megrövidült hossza már csak:

$$l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

hol c a fény sebessége; a fény sebességével haladó test hossza tehát 0-ra húzódik össze ($v=c$), miként a gázok térfogatát is 0-nak mutatja -273°C -nál a Gay-Lussac törvényét kifejező képlet:

$$v = v_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$$

és miként a hőelmélet sem vesz számításba -273°C -nál alacsonyabb hőmérsékletet, úgy a relativitási elmélet viszont a 300 000 km-t tekinti a sebesség abszolút maximumának.

Az időfogalom módosításával ismét nehézségek merültek fel, melyeken *Hermann Minkowski* (1864–1909) úgy iparkodott segíteni, hogy az idő és tér közötti dualizmust formálisan mellőzte a x, y, z térbeli koordináták mellé t -nek, mint időbeli koordinátának felvételével, miáltal — mint *W. Wien* kifejezi — „a történet egész világa négydimenziós geometriává lesz”. *Minkowski* alapformulája ez:

$$c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 1,$$

mely négydimenziós hiperbolikus teret fejez ki; az egyes síkokkal való metszés megkönnyíti a fizikai összefüggések tanulmányozását.

Sokan azt remélik, hogy a relativitási elvből az összes fizikai jelenségeket lehet majd megmagyarázni; döntő ítéletet azonban nem tudunk még róla alkotni, oly új, kiforratlan ez az elv, melynek egyik

igen nagy nehézsége az is, hogy elemi módon még vázlatosan sem ismertethető.

Napjainkban ismét az a törekvés mutatkozik nagy mértékben, hogy a természettudományok és a természetfilozófia közötti kapcsolat megerősíttessék, ellentétben azokkal az időkkel, melyekben e kapcsolat többé-kevésbé meglazult. Amennyire üdvös és gyümölcsöző az a tevékenység, mely a speciális természettudományok anyaggyűjtésében és a természetfilozófia összefoglaló principiumainak megállapításában egyaránt látja a megismeréshez vezető utat, annyira megállóhelyekre akad az a tendencia, mely erőltetve, azonos irányba kívánja beleszorítani a különböző természetű metodikai eljárásokat. A filozófiát méltán nem elégítheti ki főleg a fizikának az az egyszerűsége törekvő jellege és metodikája, mely néhány, esetleg egy elvvel, néhány egyszerű matematikai kifejezéssel akarja rendszerét felépíteni, viszont a fizika magára nézve tárgytalanoknak vagy legalább is kevésbé fontosaknak itéli azokat a pszichológiai vonatkozásokat, melyeket a filozófiának szintén tekintetbe kell vennie. A régi vita ez a pszichológizmus és az antipszichológizmus között. És noha egyes természetfilozófusok bizonyos közvetítő irányt követnek, még sem látjuk kielégítőnek azt az egységes fizikai világképet, melynek felépítésén főleg *Ernst Mach* fáradozik. Az ő fel fogása szerint nincs más realitás, mint a tulajdon érzések és minden természettudomány utolsó sorban csakis gondolatainknak érzéseinkhez való ökomonikus alkalmazkodása; a pszikikai és fizikai határ tisztán praktikus és konvencionális, a világ tulajdonképpen és egyedüli elemei az érzések (*Beiträge zur Analyse der Empfindungen* 1886).

A jövő haladás iránymutatójául azonban inkább *Max Planck* szavait találjuk követni valóknak: „A cél nem gondolatainknak érzéseinkhez való teljes alkalmazkodása, hanem — a fizikai világképnek az alkotó szellem egyéniségétől való teljes függetlenítése” (1908).

BETÜRENDES NÉVMUTATÓ.

A

Abaelardus 34
 Abbe 127
 Aepinus 82, 85
 Albertus 16
 Alcuin 15
 Alessandro (della Spina) 17
 Al Hazen 13, 17
 Al Khazini 14
 Al Sirazi 18
 Ampère 90, 92
 Anaxagoras 6
 Anaximandros 4
 Anaximenes 4
 Anderssohn 140
 Andrews 121
 Ångström 109, 126
 Arago 90, 107, 108
 Archimedes 8, 12
 Archytas 7
 Aristoteles 7, 16, 34, 35
 Aristoxenos 7, 12
 Arrhenius 132
 Atwood 76
 Avogadro 101

B

Babinet 108
 Baco (Francis) 37, 39, 43
 Baco (Roger) 16

Baliani 40
 Barns 124
 Bartholinus 68
 Beccaria 86
 Becquerel (Alex.) 109, 110
 Becquerel (Henri) 134
 Beda 15
 Bell 118
 Bémont 134
 Benzenberg 95
 Bernouilli (Daniel) 71, 82
 Bernouilli (Jacques) 71
 Bernouilli (Jean) 71, 73
 Berzelius 89
 Bessel 95
 Bianconi 76
 Biot 90, 110, 112
 Black 78
 Boëthius 15
 Bohnenberger 95
 Boisbaudran 140
 Boltzmann 106, 116, 143
 Borelli 49, 64
 Boscovich 81
 Boucheporn 140
 Bougueur 75, 79
 Boussinesq 117
 Boyle 56
 Brahe 30
 Brahma 96
 Branly 135
 Braun 116, 136

Brewster 107, 109
 Bruhns 116
 Bruno 35
 Bunsen 96, 109, 110, 124
 Burmester 115
 Buys-Ballot 108, 137

C

Cabeo 48
 Cagniard-Latour 98
 Cailletet 121
 Campanella 36
 Canton 82, 84, 85
 Cardano 35, 69
 Carlisle 89
 Carnelley 122
 Carnot 101, 143
 Carus 11
 Cassiodorus 14
 Castelli 41
 Cavalieri 43, 44
 Cavendish 75
 Cawley 70
 Celsius 77
 Challis 140
 Champion 118
 Charles 74
 Chasles 115
 Chatelier 143
 Chladni 76, 97
 Christiani 118
 Christiansen 117
 Ciamician 126
 Clarke 92
 Clausius 106, 116, 119,
 120, 122, 123, 128, 132,
 139, 143
 Colding 105
 Colladon 97
 Condamine 76
 Cooke 125
 Copernicus 23, 35, 36, 39
 Cornu 108
 Coulomb 83, 86

Crookes 124, 129
 Culmann 116
 Cunaeus 85
 Curie 134
 Cusanus 19, 23, 34, 35, 46

D

Daguerre 110
 D'Alandes 74
 D'Alembert 72
 Dalton 96, 100, 101
 Daniell 94
 Darcy 117
 Davy 89, 90, 91, 99
 D'Aubuisson 117
 Delambre 75
 Dellingshausen 140
 Deluc 78, 100
 Démarcay 134
 Demokritos 6, 39
 Descartes 38, 39, 41, 42,
 44, 54, 113
 Dewar 121
 Dietrich 82
 Diwisch 86
 Dollond 80
 Doppler 108
 Dorn 121
 Draper 109
 Drebbel 46
 Drude 141
 Dufay 84
 Dufour 122, 123
 Duhamel 98
 Dulong 100, 101
 Dutrochet 96

E

Edison 98
 Edlund 128
 Einstein 145
 Empedokles 6
 Eötvös 116, 117
 Epikuros 11

Euklides 8
Euler 72, 80, 81

F

Fabri 36
Fahrenheit 77
Faraday 90, 92, 93, 94, 129
Faure 137
Fechner 138
Feddersen 123
Feilitzsch 117
Fitz—Gerald 141
Fizeau 108
Fliegner 117
Fludd 46
Folli da Poppi 46
Forbes 108
Foucault 108
Fourier 91, 100
Franklin 85
Fraunhofer 107
Fresnel 107
Frontinus 12, 41
Fröhlich (J.) 128
Fröhlich (O.) 137

G

Galilei 25, 39, 40, 41, 43,
45, 46, 49, 69
Galvani 86
Gassendi 39, 41, 43, 49
Gauss 96, 97
Gay—Lussac 100
Gehrke 131
Geissler 117
Gellibrand 49
Gerbert 15
Gibbs 143
Gilbert 24, 48
Gintl 129
Glan 127
Goldstein 129, 131
Graham 82, 96

Gramme 136
Grassmann 139
Gravelius 117
Gray 83
Grätz 124
Green 97
Grimaldi 68
Grothuss 89
Guericke 50, 83
Guglielmini 75, 95
Guthrie 123
Guzman 74

H

Hagen 116
Hagenbach 117
Halley 57, 64, 82
Hamilton 96
Hankel 128
Hannay 122
Hartmann 24
Hawksbee 83
Hefner—Alteneck 137
Helmholtz 93, 106, 117,
128, 132, 143
Herakleitos 4, 11
Herapath 140
Hero 10, 12
Herschel 109
Hertz 130, 133, 135
Hirn 106
Hittorf 125, 129, 132
Hobbes 38
Hooke 64, 68, 69, 70
Hrabanus 15
Huggins 126
Hutton 75
Huygens 58, 62

I

Isenkrahe 140
Isidorus 15

J

Jacobi 92, 94, 116
 Jamin 122
 Janssen 27
 Jedlik 136
 Jellett 116
 Jolly 117
 Joule 105, 112, 143

K

Kant 111
 Kaufmann 135
 Keesom 122
 Keller 140
 Kelvin (Lord): Thomson
 (W.)
 Kepler 29, 64
 Kircher 45, 48
 Kirchhoff 109, 124, 125
 Kleist 85
 Kohlrausch 116, 118
 König 98, 117
 Krönig 119
 Ktesibios 10, 12
 Kundt 97, 123

L

Lagrange 72
 Lamb 117
 Lambert 79
 Lamé 140
 Laplace 78, 97, 112
 Lavoisier 78
 Leeuwenhoek 70
 Leibniz 62, 71, 81
 Le Monnier 85, 86
 Lenard 130, 131
 Lenz 91, 92
 Leonardo da Vinci 20, 33
 Leray 140
 Lesage 111
 Lichtenberg 85

Linde 121
 Lippershey 27
 Lippmann 110
 Lockyer 126, 127
 Lodge 135, 141, 142
 Loewenherz 124
 Lommel 109
 Lorentz 133, 141, 144
 Lorenz 141
 Loschmidt 121
 Lundquist 123

M

Mach 116, 146
 Maclaurin 72
 Magnus 117, 123
 Malus 107
 Marconi 136
 Marcus Graecus 18
 Mariotte 57
 Maskelyne 75
 Matthiessen 116
 Maupertuis 73, 96
 Maurolykus 23
 Maxwell 106, 117, 120, 123,
 128, 129, 133, 139
 Mayer (Alfred) 118
 Mayer (Robert) 101, 112,
 143
 Méchain 75
 Melde 118
 Mersenne 43, 49, 58
 Meyer (Lothar) 122
 Meyer (Oscar Em.) 117,
 120, 121, 124
 Meyerhofer 143
 Michell 75, 82
 Michelson 108, 141
 Miller 109
 Minkowski 145
 Mojon 90
 Montgolfier 74
 Morin 116
 Morse 94

Moser 126
 Möbius 115
 Muncke 90
 Musschenbroek 85

N

Narr 123
 Negro 92
 Neumann 128
 Newcomen 70, 71
 Newton 63, 70, 79, 80, 97
 Nicholson 89
 Nièpce (Claude) 110
 Nièpce (Nicéphore) 109, 110
 Nollet 81
 Norman 24

O

Oberbeck 119
 Obermayer 117
 Oersted 90, 91, 96
 Ohm 91
 Olszewski 121, 122
 Onnes 122
 Ostwald 132, 143

P

Paalzow 123
 Pacinotti 136
 Papin 62
 Parmenides 5, 6
 Pascal 39, 42, 47
 Patrizzi 35
 Peckham 17
 Pellet 118
 Peltier 91
 Périer 42
 Perrin 130
 Petit 100
 Pfaundler 122
 Picard 65
 Pictet 78, 121

Pietrowski 117
 Pixii 92
 Planck 146
 Planté 137
 Plateau 116
 Plato 7, 12
 Plinius 12
 Plücker 109, 125
 Poggendorff 90
 Poinot 96
 Porta 23
 Ptolemaios 10, 11, 23
 Puluji 117, 129
 Pythagoras 4

Q

Quincke 116

R

Ramsay 121, 122, 135
 Ramsden 84
 Rankine 106
 Ràumur 77
 Recknagel 124
 Regnault 97
 Reich 125
 Reichenheim 131
 Reuleaux 115
 Rey 45
 Reynolds 116, 123
 Richer 61
 Richman 77, 78, 86
 Richter 125
 Ritchie 92, 110
 Rive 129
 Robins 73
 Roche 116
 Romagnosi 90
 Rozier 74
 Römer 57
 Röntgen 131
 Rumford gróf (Thompson)
 110

Rutherford 135
Rühlmann 129

S

Salvino degli Armati 17
Santorio 45
Sauveur 76
Savart 90, 98
Savery 82
Saxton 92
Schaffgotsch 118
Scheele 78
Schelling 111
Schramm 140
Schuller 117
Schwartz 18
Schweigger 90
Schwerd 108
Scott 98
Secchi 140
Seebeck 91, 98
Segner 74
Seneca 12
Siedentopf 127
Siemens (Werner) 127, 136
Siemens (William) 124
Simon 89
Slaby 136
Snell 33, 44
Soddy 135
Sokrates 7
Soret 123
Spencer 94
Spiller 140
Stark 131
Stefan 123
Stevin 25
Stewart 109, 140, 141
Stokes 109, 117
Stöhrer 92
Strouhal 118
Strömer 77
Sturm 97
Swan 109

Symmer 82, 85
Szathmári 98
Szily 106

T

Tait 106, 140
Talbot 110
Taylor 76
Telesio 35
Thales 4, 11
Theodoricus 17
Thompson 99, 100
Thomson (J. J.) 130
Thomson (W.) 140, 141,
142, 143
Toepler 117
Torricelli 41, 42, 47, 52
Townley 56
Tyndall 106

U

Unwin 117

V

Van der Waals 1. Waals
Vanini 36
Varro 12
Vierordt 127
Vitello 17
Vitruvius 12
Viviani 42
Vogel 116, 127
Volckmar 137
Volpicelli 122
Volta 88

W

Waals 121, 122
Warburg 117, 118, 124
Waterston 140
Watson 85

Watt 78
 Weber (H. Fr.) 123
 Weber (Rob.) 117
 Weber (Wilh.) 95, 98, 128
 Weisbach 117
 Wheatstone 94
 Wiechert 116
 Wiedemann 124, 129, 130
 Wien 131, 145
 Wilhelmy 139
 Wilke 78
 Wilson 84
 Winkelmann 123
 Winkler 84
 Witelo l. Vitello
 Wollaston 107
 Wren 64

Wroblewsky 121
 Wüllner 125, 126

X

Xenophanes 5

Y

Young (J.) 108
 Young (Thom.) 95, 106, 107

Z

Zeeman 133
 Zeno 5
 Zöllner 127, 128, 140
 Zsigmondy 127

IRODALOM.

- Gerland*: Geschichte der Physik, Leipzig 1892.
Heller: A physika története, Budapest 1891. 1902.
Kistner: Geschichte der Physik, Leipzig 1906.
Poggendorff: Geschichte der Physik, Leipzig 1879.
Rosenberger: Die Geschichte der Physik, Braunschweig 1882. 1884. 1887—1890.

*

- Günther*: Geschichte der Naturwissenschaften, Leipzig 1909.
La Cour u. Appel (Siebert): Die Physik auf Grund ihrer geschichtlichen Entwicklung, Braunschweig 1905.
Mikola: A fizikai alapfogalmak kialakulása, Budapest 1911.

*

- Lodge (Barkhausen)*: Der Weltäther, Braunschweig 1909.
Rohrer: Az elektromosság tanának haladásáról, Budapest 1910.
Soddy (Salamon G.): A rádium, Budapest 1912
Zemplén: Az elektromosság és gyakorlati alkalmazásai, Budapest 1910.
-

TARTALOM.

1. Az ókor.

	Oldal
a) A görögök	4
b) A rómaiak	11

2. A középkor.

a) Az arabok	13
b) A keresztények	14

3. Az ujkor.

Galileo Galilei	25
Johannes Kepler	29
A természetfilozófia a XVII. század közepéig .	33
A kísérleti tevékenység eredményei a XVII. században	40
A mechanikának matematikai módszerrel való kiépítése a XVII. században	57
A XVIII. század	70
a) Mekanika	71
b) Akusztika	76
c) Hőtan	77
d) Fénytan	79
e) Anyagszerkezet elmélete. Természet- filozófia	80
f) Mágnesség	82
g) Elektromosság	83
A galvanizmus	86

	Oldal
A XIX. század	95
<i>a)</i> Mekanika	95
<i>b)</i> Akusztika	97
<i>c)</i> Hőtan	99
<i>d)</i> Fénytan	106
<i>e)</i> Anyagszerkezet, természetfilozófia . .	110
Az utolsó félszázad	113
<i>a)</i> Mekanika	115
<i>b)</i> Hangtan	117
<i>c)</i> Hőtan	119
<i>d)</i> Fénytan	124
<i>e)</i> Elektromosság	128
<i>f)</i> Anyag szerkezete, éterelmélet, természetfilozófia	137
Betűrendes névmutató	147
Irodalom	154

VILÁGKÖNYVTÁR

Egy-egy kötet angol vászon-
kötésben 1 korona 90 fillér.

Kapható minden könyvkereskedésben.

∴ OSTWALD ∴

Feltalálók, felfedezők,
nagy emberek

FORDITOTTA: KÓSA MIKLÓS

Nagyszerű probléma megoldását keresi ez a könyv. — Ostwald, a ma legnagyobb természettudósaink egyike, — a zseni, az emberiség számára feltaláló, felfedező nagy ember élettanát adja. — Az a kiinduló pontja, hogy **a nagy ember életkérdése a társadalomnak**, tehát kutatni kell, miként lehet felismerni, mint tud a legjobban dolgozni, mit kell tenni az államnak a támogatására. — Plátó régi álma, **a zseni tenyésztése**, új, természettudománnyal meg-alapozott életre ébred Ostwald könyvében. ∴

VILÁGKÖNYVTÁR

Egy-egy kötet angol vászon-
kötésben 1 korona 90 fillér.

Kapható minden könyvkereskedésben.

ANATOLE FRANCE

A FEHÉR KÖVÖN

FORDITOTTA: CZÓBEL ERNŐ

Három nagy kultúra találkozik ebben a könyvben. Az antik világ, a mai társadalom és a jövő utópiája. A ma legfinomabb írójának a csodálatos tudása és szellemessége tekint itt vissza a görög-római időkbe, a kereszténység kezdő ideibe, hogy rajtuk mérje egy elkövetkező társadalom lehetőségét és boldog berendezését. A legszellemesebb társadalmi utópia.

VILÁGKÖNYVTÁR

Egy-egy kötet angol vászon-
kötésben 1 korona 90 fillér.

Kapható minden könyvkereskedésben.

MAETERLINCK

A SZEGÉNYEK KINCSE

FORDITOTTA BÖLÖNI GYÖRGY

A Nobel-díj koszorúja a legfrissebb diadala Maeterlincknek, a nagy drámairónak és mély filozófusnak. És talán inkább a filozófiai művei, mint a drámái juttatták el az írói dicsőségnek ehhez az ormához: *az ilyen finom, mély és szellemes filozófiai munkái, mint A szegények kincse* Az aprók, gyámoltalanok, a szenvedők vagyónáról, a lélekkincseiről van szó ebben a könyvben. *Mindazok számára van ennek a könyvnek mondanivalója, kiket megbántott az élet.*

VILÁGKÖNYVTÁR

Egy-egy kötet angol vászon-
kötésben 1 korona 90 fillér.

Kapható minden könyvkereskedésben.

BÖLSCHE:

Az élet fejlődéstörténete.

Fordította: Dr. Fülöp Zsigmond.

A nagy tudósnak és a nagy mesemondónak minden erénye megvan ebben a könyvben. A témája a legizgatóbb emberi téma. Hogyan keletkezett az ember, hogyan alakultak ki az állatfajok, mint született meg az élet a földön. És ezt a témát Bölsche az adatokon való tökéletes uralkodással, a művészi elmondás minden eszközével adja elő. Mintha valami sokszínű, sokmintájú keleti szőnyeget teregetne szét a publikuma gyönyörűségére, de ennek a szőnyegnek minden cirádája és minden színfoltja a természet-tudomány igaz adatainak a szálaiból van szöve.

