

Tudománytörténet kutatási szemléletben

Összeállította: Radnóti Katalin

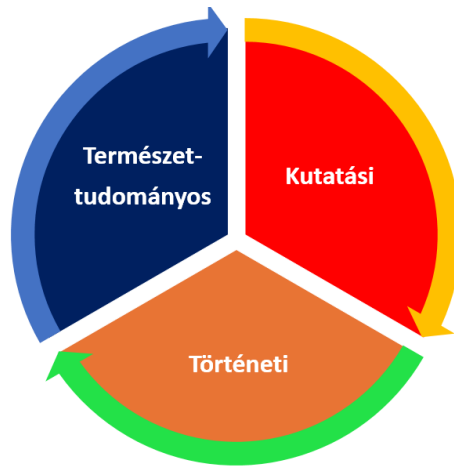
Tartalom

Természettudományos szemlélet	3
Tudománytörténet az iskolában.....	4
Kutatási szemlélet	4
A fizika érettségi tudománytörténeti követelményei	6
Arkhimédész (kb. Kr. e. 287., Siracusa – Kr. e. 212., Siracusa)	7
Kopernikusz (1473 Torun – 1543 Frombork)	12
Kepler (1571 Weil der Stadt-1630 Regensburg)	13
Geo- és heliocentrikus világkép.....	15
Galilei (1564 Pisa – 1642 Firenze).....	16
Newton (1643 Woolsthorpe -1727 London).....	17
„Égi és földi mechanika egyesítése”	17
Huygens (1629 Hága - 1695. Hága).....	19
A fény természetének problémája I.	20
Távcső, mikroszkóp, vetítő	22
Lavoisier (1743. Párizs -1794. Párizs).....	24
Watt (1736. Greenock – 1819. Handsworth)	31
Gőzgép és alkalmazásai	31
Ohm (1789. Erlangen - 1854. München)	32
Joule (1818. Salford – 1889. Sale).....	36
Belső égésű motorok.....	37
Ampère (1775. Lyon– 1836. Marseille)	37
Faraday (1791. Newington Butts – 1867. Hampton Court)	39
Jedlik Ányos (1800. Szimó - 1895. Győr)	41
Dinamó, generátor, elektromotor	41
Maxwell (1831. Edinburgh – 1879. Cambridge).....	43
Hertz (1857. Hamburg - 1894. Bonn).....	43
Az elektromágnesség egységes elmélete	44
Eötvös Loránd (1848. Buda - 1919. Budapest)	46
Thomson (1856. Manchester – 1940. Cambridge).....	46
Az elektron felfedezése	47

Rutherford (Brightwater, 1871. – Cambridge 1937.)	50
Marie Curie (1867. Varsó – 1934. Passy) és Pierre Curie (1859. Párizs – 1906. Párizs)	52
Planck (1858. Kiel - 1947. Göttingen)	54
Heisenberg (1901. Würzburg - 1976. München)	55
Bohr (1885. Koppenhága - 1962. Koppenhága).....	56
Kvantummechanika.....	56
Félvezetők	57
Einstein (1879 Ulm – 1955 Princeton)	58
Speciális relativitáselmélet	59
Röntgensugárzás	60
Kármán Tódor (1881. Budapest - 1963. Aachen)	61
Szilárd Leó (1898. Budapest – 1964. La Jolla)	62
Teller Ede (1908. Budapest –2003. Stanford)	62
Wigner Jenő (1902. Budapest –1995. Princeton).....	63
Radioaktivitás, az atomenergia alkalmazása	64
Gábor Dénes (1900. Budapest –1979. London).....	67
Lézer	69
Az űrkutatás történetének legfontosabb eredményei.....	70
Néhány felhasznált és ajánlott irodalom:	71

Célom az, hogy a fizika érettségi követelményekben szereplő tudománytörténeti követelményekhez segítséget adjak mind a diákoknak a felkészüléshez, mind pedig a tanároknak a felkészítéshez. De természetesen az oktatási folyamatban is használható segédletet szeretnék nyújtani.

A feldolgozás során igyekeztem, alkalmazni a *természettudományos-, történeti- és kutatási szemléletet*. Kitérek az érettségi követelményekben nevesítve szereplő tudósok rövid életrajzára, a korszak történelmi háttérére, fő eredményeire, melyek egy érettségi felelt alkalmával elhangozhatnak. Milyen jellemző, a fizika tudományával kapcsolatos tudományos *problémák* voltak akkor, mi volt a *kutatási kérdés*, hogyan sikerült azt megoldani és ez miként jeleníthető meg a fizika oktatásában?



A fizikaoktatás szemlélete

Természettudományos szemlélet

A természettudományos tantárgyak tanulása során azt az attitűdöt kell a gyerekekben kialakítani, hogy a *természet megismerhető, vannak természeti törvények*, a Világ nem random, összevissza működik. A világot önmagából és önmagával magyarázzuk. A természetben előforduló jelenségek törvényekkel leírhatók, melyhez a *matematika jelrendszerét alkalmazzuk*, amikor csak lehet. Világunk *megismerésnek vannak módszerei*, szabályai, algoritmusai.

Egyre több jelenséget tudunk megmagyarázni úgy, hogy alapvetőbb jelenségekre vezetjük azokat vissza. Különböző **fogalmakat konstruáljunk** meg, melyekkel jellemezni tudjuk az adott dolgot, jelenséget. Ezek minél nagyobb részéhez **számértékeket** is rendelünk az összehasonlíthatóság miatt. Alakuljon ki a diákokban az a szemlélet, hogy **a világot a mérések során ismerjük meg!** A fizikaórán ténylegesen nem csak fizikát tanítunk, hanem egy általános természettudományos szemléletet, racionális gondolkodásmódot kívánunk elsajátíttatni a diákokkal.

A természettudomány feladata elsősorban a világ **működésének** leírása, a „*hogyan működik?*” kérdésre való válaszok keresése”, de egyre alapvetőbb és átfogóbb törvények segítségével, azokból kiindulva, sokszor *hosszú logikai láncok* felhasználásával. Ez jelenti azt, hogy a „*miért, mi az oka?*” kérdésekre²² is választ keres. **DE**, el kell mondjuk azt is, hogy az olyan alapvető kérdésekre, mint pl. miért négy alapvető kölcsönhatás létezik, és azok miért olyanok, miért éppen akkora az elektron töltése, tömege... stb.?, vagy mi az élet értelme? nem tud választ adni.

Empíria és elmélet összhangja: a dolgok lehetséges működéséről, a megfigyelt jelenségek létrejöttének okáról hipotéziseket alkotunk, és ezek bevalását megfigyelésekkel és kísérletekkel képesek vagyunk alátámasztani.

A természet leírásához, megismeréséhez *egyszerűsítő feltételeket* vezetünk be, analógiákat és modelleket használunk, a sokaság leírásához statisztikai, valószínűségi módszereket alkalmazunk stb.

A természettudomány mai **technikai világunk** alapja.

Hatalmas adatbázisok kezelési lehetőségei nyíltak meg a **szimulációk** a modellalkotásban és annak tesztelésében nyújtott lehetőségeivel. Ezzel egyben **kitágult a vizsgálható jelenségek köre** is!

Az Internet megteremtette a **gyors tudásmegosztás** lehetőségét is.

A természettudomány azonban elveti a „**parajelenségeket**” amelyek igazából **nem** reprodukálhatóak, nem lehet a fenti vizsgálatoknak alávetni!

Tudománytörténet az iskolában

A természettudományos szemlélet fejlesztéséhez célszerű az *adott tananyag tudománytörténeti vonatkozásait történeti és kutatási szemléletben megismertetni a diákokkal.*

Mit értünk történeti szemlélet alatt?

Mit honnan tudunk? Hogyan alakult ki az adott tudás?

Nem csak a **végeredmények** leírása, melyet meg kell tanulni.

A feldolgozandó téma szempontjából célszerű megvizsgálni a felismerés korszakában felmerült

- az adott korszakra jellemző tudományos kérdéseket, azok megközelítésmódját, többféle elképzeléseit,
- tesztelhető hipotézisek megfogalmazását, például analógiák alapján,
- a hipotézisek alátámasztására tervezett vizsgálatokat, kísérleteket,
- végül a következtetések leírását esetleg eredeti idézetek segítségével.

Továbbá érdemes még a következőkkel is foglalkozni:

- A felfedezés/felismerés milyen társadalmi környezetben jött létre, milyen addig létező elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltott fel?
- Milyen előzményei voltak a felfedezésnek?
- Hogyan, milyen módszerrel történt a felfedezés?
- Mi volt a felfedezés újszerűsége?
- Hogyan fogadta a tudományos közösség a felfedezést? Elég meggyőzőnek tartották-e?
- Milyen nehézségek merültek fel a megismerés során?
- Milyen további kutatásokat indukált, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre magában a tudományában, illetve esetlegesen az emberiség életében?

Kutatási szemléletet

Napjainkban *kutatás alapú társadalomban* élünk, melyre fel kell készíteni diákjainkat. Számptalan a legkülönbözőbb témákról szóló kutatással kapcsolatos hír lát napvilágot a sajtóban, TV-ben, rádióban. Sokszor egy-egy termék reklámozása esetében is a fejlesztést kutatási folyamat eredményeként állítják be. Ezeket kritikával kell kezelni! El kell tudni dönteni, hogy az ténylegesen kutatás lehetett-e? Kérdéseket kell tudni megfogalmazni a kutatással kapcsolatban. Ezért fontos feladat a **kutatási készségek fejlesztése** is a fizika tantárgy tanulása során. Ez elsősorban az empirikus vizsgálatokhoz, a kísérletezéshez köthető, bár nem kizárólagosan, hiszen nem lehet minden témakört kísérletesen feldolgozni a tanórákon. A fizikai megismerés a tanórákon nem csak egyszerűen a kísérletek elvégzését jelenti recept alapján, hanem a teljes ismeretszerzési folyamat megismerését. Ez történhet

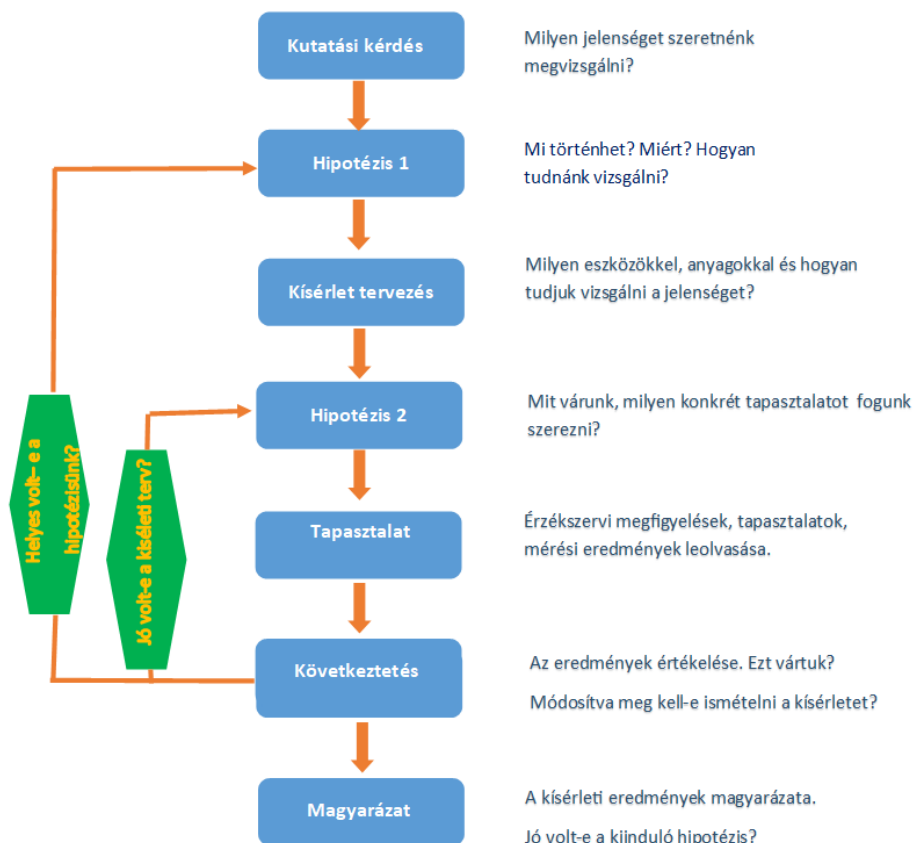
tudománytörténeti folyamat tanulmányozása során, feladatok megoldásakor, vagy új tudományos eredmény feldolgozásakor is.

Több országban elterjedt gyakorlat, napjaink szakmódszertani fejlesztéseinek egyik meghatározó eleme a természettudományos nevelésben a kutatás alapú természettudomány-tanítás koncepciója. A módszer lényege az, hogy a kutatás képezi a természettudományos nevelés alapját, irányítja a tanulói tevékenységek megszervezésének és kiválasztásának alapelveit. A kutatás alapú tanulás/tanítás (angolul Inquiry-Based Learning, IBL) olyan módszer, amely biztosítja, hogy a tanulók ténylegesen átéljék a tudásalkotás folyamatait, minél jobban lássák az ismeretszerzés teljes menetét, legyenek annak aktív részesei.

A kutatás alapú tanulás esetében a tananyag feldolgozásának menete:

- problémák keresése, kutatásra érdemes kérdések megfogalmazása,
- hipotézisek megfogalmazása,
- különböző alternatív magyarázatok megalkotása és elemzése,
- kutatások tervezése, vezetése,
- megfelelő eszközök és technikák használata az adatok gyűjtéséhez,
- az adatok elemzése,
- a természettudományos érvek/indokok közlése.

A célkitűzés az, hogy a diákok a fizika tanulása során minél több példa kapcsán lássák a megismerési folyamat fenti lépéseit, mintegy tudományos megismerési algoritmust. Ezt értjük a kutatási szemlélet alatt. Azonban ez a módszer nem egyszerűsíthető le arra, hogy a diákok minél többet kísérletezzenek. A kísérletezés fontossága a fizika tudomány empirikus tudomány jellegéből adódik. A fő célkitűzés a megismerési folyamat, mint algoritmus végigkövetése. És erre a tudománytörténeti folyamatok elemzése, egy-egy felfedezés létrejöttének nyomon követése kiválóan alkalmas.



A tudományos ismeretszerzés lépései

Tehát fontos elem a tudományt történetének kutatási szemléletben való ismertetése, hogy minél több valódi példán keresztül lássák a tanulók a tudományos ismeretszerzés menetét.

A fizika érettségi tudománytörténeti követelményei

„Tudja, hogy a felsorolt tudósok mikor (fél évszázad pontossággal) és hol éltek, tudja, melyek voltak legfontosabb, a tanultakhoz köthető eredményeik.”

„Arkhimédész, Kopernikusz, Kepler, Galilei, Newton, Huygens, Watt, Ohm, Joule, Ampère, Faraday, Jedlik Ányos, Maxwell, Hertz, Eötvös Loránd, J. J. Thomson, Rutherford, M. Curie és P. Curie, Planck, Heisenberg, Bohr, Einstein, Kármán Tódor, Szilárd Leó, Teller Ede, Wigner Jenő, Gábor Dénes”

Felfedezések, találmányok, elméletek

„Geo- és heliocentrikus világkép „Égi és földi mechanika egyesítése” Távcső, mikroszkóp, vetítő A fény természetének problémája Gőzgép és alkalmazásai Dinamó, generátor, elektromotor Az elektromágnesség egységes elmélete Belső égésű motorok Az elektron felfedezésének története Radioaktivitás, az atomenergia alkalmazása Röntgensugárzás

Speciális relativitáselmélet Kvantummechanika Az űrkutatás történetének legfontosabb eredményei Félvezetők Lézer”

„Tudja a felsoroltak keletkezésének idejét fél évszázad pontossággal, a 20. századtól évtized pontossággal. Tudja a felsoroltak hatását, jelentőségét egy-két érvvel alátámasztani, az elméletek lényegét néhány mondatban összefoglalni. Tudja a felsoroltakat a megfelelő nevekkel összekapcsolni. Ismerje a geo- és heliocentrikus világképet. Tudja, milyen szerepe volt *a kísérlet és a mérés mint megismerési módszer* megjelenésének az újkori fizika kialakulásában. Ismerje a newtoni fizika tudománytörténeti hatását. Ismerje az optikai eszközök hatását az egyéb tudományok fejlődésében. Ismerjen néhány új energiatermelő, -átalakító technikát, és azok hatását az adott kor gazdasági és társadalmi folyamataira (gőzgépek, az elektromos energia és szállíthatósága, atomenergia, alternatív energiaforrások). Tudja felsorolni a klasszikus fizika és a kvantummechanika alapvető szemléletmódbeli eltéréseit. Ismerje a nukleáris fegyverek jelenlétének hatását világunkban. Ismerje a modern híradástechnikai, távközlési, számítástechnikai eszközöknek a mindennapi életre is gyakorolt hatását.”

Emelt szintű kiegészítés:

„Ismerje Maxwell és Hertz munkásságának lényegét, jelentőségét. Tudja felsorolni a tanultak alapján a klasszikus fizika és a relativitáselmélet alapvető szemléletmódbeli eltéréseit.”

Arkhimédész (kb. Kr. e. 287., Siracusa – Kr. e. 212., Siracusa)

Siracusa-ban született, mely város Szicíliában. Korinthosz gyarmata volt és az i.e. 8. században alapították, ma Olaszországhoz tartozik.

Arkhimédész fiatal korában Egyiptomban, **Alexandriában** töltött néhány évet, és minden bizonnyal kapcsolatot tartott az alexandriai tudósokkal a város híres könyvtárában, mely mintegy korabeli kutatóintézetként működött. Itt barátkozott össze többek között Eratoszthenésszel (i. e. 276., Küréné - i. e. 194., Alexandria), aki elsőként adott becslést a Föld méretére. Arkhimédész tudományos eredményeiről is nagyrészt kettejük baráti-tudományos levelezéséből tudunk.

Alexandriából azonban visszaköltözött **Siracusába** rokona, II. Hierón (i. e. 306. – 215. Sirakusa) király udvarába, és itt élte le élete hátralevő részét. A második pun háború során, melynek részeként a rómaiak megostromolták a punok oldalán álló Siracusát, Arkhimédész ötletes gépezeteket szerkesztett, és ezeknek köszönhetően a védők két évnél is tovább tudták tartani a várost, ami végül csak árulás eredményeként esett el. A római hadvezér ugyan megparancsolta, hogy a nagy tudós életét kíméljék meg, de egy légionárius mégis leszúrta.

A korabeli tudomány állása

Sok megfigyelési anyag volt a természetről, melyet *Arisztotelész* foglalt írásba. Ezek közt vannak ma már tévesnek ítélt elképzelések, mint pl.

- a nehezebb test nagyobb sebességgel esik,

- minden testnek megvan a természetes helye,
- külön égi- és földi fizika, stb.

A geometria fejlett volt, melyet Eukleidész foglalt írásba.

DE a származtatott fogalmak még hiányoztak, amelyek a mélyebb megértést lehetővé tették volna.

Művei:

- A síkok egyensúlyáról
- A parabola területéről
- A gömbről és a hengerről
- A körmérés és gömbmérés
- A csigavonalakról; a konoidokról és szferoidokról
- Homokszámlálás (Ψάμμητις)
- Az úszó testekről

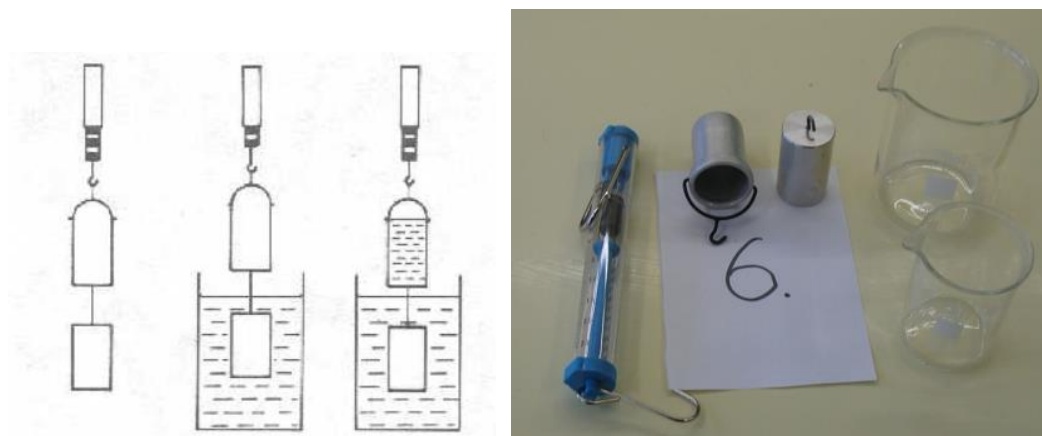
A róla elnevezett törvény alapját, a felhajtóerő jelenségét jól írta le, hogy könnyebb lesz vízben a test, de természetesen a mai értelemben vett sűrűség és erő fogalom hiányában, hiszen ezek később jelentek meg.

Arkhimédész így fogalmaz *Az úszó testekről* c. könyvében:

„Bármely test, amely könnyebb a víznél, teljesen a víz alá nyomva azzal az erővel igyekszik felfelé, amely a test által kiszorított víz súlyának és a test súlyának különbségéből adódik. Amennyiben a test nehezebb a víznél, a test felfelé igyekszik akkora erővel, amekkora a test súlyának és az általa kiszorított víz súlyának a különbsége.”

Idézi: Simonyi 1978. 74. oldal

A törvény iskolai demonstrálása az úgynevezett *arkhimédészi hengerpár* segítségével történik.



Létrehozta a **statika** tudományát, leírta az emelőtörvényt, a hidrosztatikai és a egyensúlyt. Meghatározta a tömegközéppont (súlypont) fogalmát és kiszámította (pontosabban: megszerkesztette) számos geometriai alakzat súlypontját.

Az **emelők**re vonatkozó törvények már korábban is ismertek voltak, azonban ezeket Arkhimédész foglalta rendszerbe. Az egyensúly törvényeit a kor tudományos szokásának

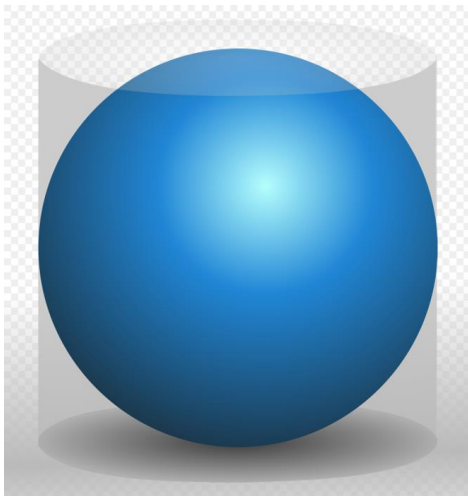
megfelelően (Euklidésznél is olvashatók a geometriai axiómák) módon úgynevezett posztulátumok és az ezekből egyszerű logikai lépésekkel levezetett tételek formájában tette közzé.

Legfontosabb axiómái:

- Szimmetrikusan terhelt emelő egyensúlyban van.
- A felfüggesztési pontban az egész súly hat.

Idézi Simonyi 1978. 74. oldal

Arkhimédész **matematikai munkáihoz** is mechanikai modelljein keresztül jutott el. Ezek némelyike már az integrálszámítás csíráit hordozzák magukban. Például: parabolaszemek területének, a gömb térfogatának és felszínének kiszámításánál, Kiszámította a négyzetgyököt. Tetszés szerinti pontossággal meghatározta a kör kerületét, közelítő értéket adott a pi-számra.



Az egyenlő oldalú hengerbe írt gömb térfogatai és felszínei viszonyának a meghatározása: az arány: $2/3$. Sírjára is ezt vésték rá.

Találmányai: csigák, tükrök, vízemelő,

Találmányai közül többet meg is építettek, melyek fontos szerepet játszottak a rómaiakkal folytatott harc során a II: Pun háború idején. A város árulás következményeképp esett el. Egy római katona ölte meg „munka közben”.

„*Ne zavard a köreimet*”

Hatása

Arkhimédész munkája nélkül például nem tudta volna Kepler felfedezni a bolygók ellipszis pályáját, hiszen ahhoz ismernie kellett ezt a görbét. Galilei sem fedezhette volna fel a vízszintes hajítást végző test pályájának parabola alakját, ha nem ismerte volna a parabolát. A sűrűségfogalom megalkotásában is alapvető szerepe volt, melyet több mint ezer évvel később Al Biruni vezetett be, és 18 anyag esetében meg is mért. A középkorban ez vált a pénzérmék aranytartalmának meghatározásának fő módszerévé (bár ez nem igazán volt egzakt módszer). Napjainkban minden kifejlesztett új anyag esetében egyik alapvető mérés a sűrűség meghatározása és táblázatokban való közlése.

A híres történet

Hieron, Siracusa királya fogadalmi ajándékként színaranyból kívánt készíttetni egy koronát. A korona el is készült, de Hieronban fölmerült a gyanú, hogy az ötvös csalt, és a kapott arany egy részét ezüsttel pótolta. Arkhimédészt kérte fel a gyanú igazolására. Az alábbiakban kutatási szemléletben mutatjuk be a kérdés megoldását.

A vizsgálandó probléma: Az ötvös minden bizonnyal csalt, vagyis az arany egy részét ellopta. De ezt leplezendő minden bizonnyal az arany egy részét azonos tömegű ezüsttel helyettesítette. Így az általa készített korona tömege megegyezik a király által a munkához rendelkezésre bocsátott arany tömegével.

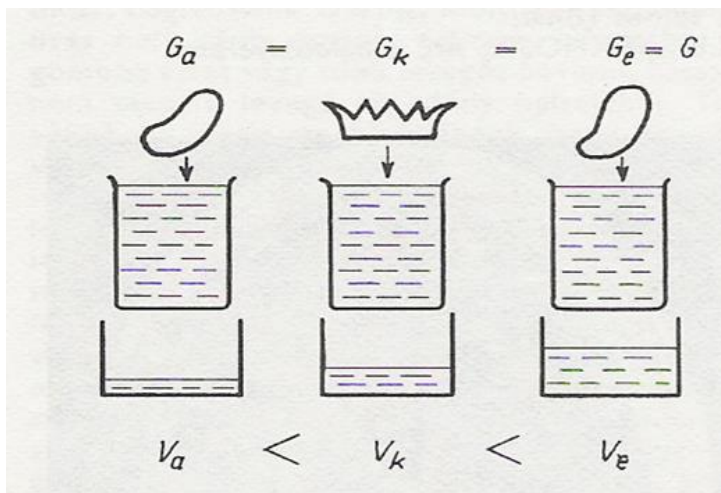
Kutatási kérdések:

- Hogyan lehet kimutatni azt, hogy az ötvös csalt?
- Milyen méréseket kell ehhez elvégezni?
- A mérési eredményekből miként lehet következtetni a csalásra és lehetőleg annak mértékére is? Mennyi aranyat lophatott el az ötvös?

Vitruvius római építész leírása szerint a dolog nyitjára Arkhimédész akkor jött rá, amikor a fürdőben a vízzel telt fürdőkádba lépve a kádból egyre több víz ömlött ki, minél jobban belemerült a kádba.

Arkhimédész - hosszas töprengés után - úgy járt el, hogy kért egy, a koronával azonos súlyú arany-, illetve ezüstkockát. Mindkettőnek meghatározta a térfogatát úgy, hogy az általuk kiszorított víz térfogatát mérte.

Ezután vízbe helyezte a koronát is, s mivel az az aranykockánál több vizet szorított ki, bebizonyosodott, hogy valóban csalás történt. Még a belekevert ezüst mennyiségét is meg lehetett határozni a három térfogatomérés eredményéből.



Jelöljük a csalás mértékét H-val!

$$H = (V_k - V_a) : (V_e - V_k)$$




ahol V_k a korona által, V_a az aranytömb által, V_e az ezüstitömb által kiszorított víz térfogata.

Ha $V_k = V_a$, akkor nincs hamisítás, $H = 0$.

2018-ban az ELTE TTK **fizika szintfelmérőn** a következő feladat szerepelt:

Siracusa királya, Hierón, koronát csináltatott magának. Ehhez át is adott ötvösének megadott tömegű aranyat. Később azonban gyanút fogott, hogy az ékszerész az arany egy részét

kicserélte ezüstre. Gyanúja igazolásához Arkhimédészt kérte fel, aki tömeg és térfogatmérések alapján adott választ a kérdésre. Mérési adatai az alábbi ábrán láthatók.

	A.	B.	C.
			
tömeg·(g)	3750	3750	3750
térfogat·(cm ³)	357	194	315

Az arany sűrűsége 19,3 g/ cm³, az ezüst sűrűsége 10,5 g/ cm³.

- Melyik korona készült arany - ezüst ötvözetből?
- Mekkora az ötvözet átlagos sűrűsége?
- Az ötvözetnek mennyi az ezüsttartalma? Mekkora a koronában lévő ezüst
 - térfogata,
 - tömege?

Megoldás:

- A sűrűségeket kell kiszámítani. Így a A) ezüst, a B) arany és a C) korona az ötvözet, mivel itt köztes érték jön ki az osztásnál.
- Az átlagos sűrűsége az ötvözetnek = $3750/315 = 11,9 \text{ g/cm}^3$

Az ezüst térfogatát jelöljük x – el! Írjuk fel ezzel az arany és az ezüst tömegét, melyek összege természetesen 3750 g.

$19,3(315-x) + 10,5x = 3750$, innen $x = 264,7 \text{ cm}^3$, melynek tömege a sűrűséggel való szorzás után: $2779,5 \text{ g}$ ezüst.

Lehet tanulói mérési feladatot is adni a témából. Például:

Próbáljátok meg bemutatni az esetet *vas és alumínium* felhasználásával! A szükséges adatokat mérjétek meg, illetve használjátok különböző táblázatokat!

Tanácsok:

A kétféle fémeket nem kell feltétlenül megolvasztani és ténylegesen összekeverni, elég, ha csak szorosan összeerősítitek. Arra figyeljétek, hogy az össztömeg minden esetben ugyanakkora legyen! Például vasból és alumíniumból készült szegecsek használhatók, melyeket mondjuk egy vízhatlan nejlon zacskóba helyeztek.

Vizsgáljátok meg többféle esetet!

További érdekes feladatok

A kémiai tanulmányokhoz kapcsolódóan érdemes a periódusos rendszer elemeinek is megnézni a sűrűségét!

- Hol helyezkednek el a legnagyobb sűrűségű elemek, és mi lehet ennek a magyarázata. (Ezek a d mezőben helyezkednek el, azok közül is a nagyobb rendszámúak, mert ezek a legkompaktabbak, de nagy az f mezőbeli elemek sűrűsége is.)

A csillagászathoz kapcsolódó feladat:

Egyes bolygók sűrűsége, exobolygók sűrűsége

A sűrűségfogalomra a fizikatanulás végén is érdemes visszatérni az atommagok tanulmányozásakor, mivel az az érdekes jelenség áll fenn, hogy az atommagok sűrűsége állandó, függetlenül attól, hogy mely elem atommagjáról is van szó. Sőt, mai tudásunk szerint vannak olyan égitestek, melyek atommagnyi sűrűségűek. Ezek a neutroncsillagok.

Kopernikusz (1473 Torun – 1543 Frombork)

Nicolaus Copernicus 1473-ban született **Torunban**. Apja kereskedő volt, akinek halála után püspök nagybátyja gondoskodott róla. **Krakkóban**, majd **Bolognában**, **Paduában**, **Ferrarában** (itt doktorált 1503-ban kánonjogból) és **Rómában** tanult. Orvosi tanulmányokat is folytatott, nagybátyja háziorvosa is volt egyben. 1512-ben a **frauenburgi (fromborki)** dóm kanonokja lett. 1520-ban hivatalos elfoglaltságaitól visszavonult, és a székesegyház tornyában berendezett csillagvizsgálójában már csak a csillagászattal és a heliocentrikus világgép elméletével foglalkozott. Itt is halt meg 1543-ban. Asztronómiai gondolatait az 1514. körül kézirat formájában közzétett *Commentariolus* című rövid írása segítségével ismertette meg a világgal. A részletesebb leírást, sok évi várakozás után Rheticus (1514. Feldkirch – 1574. Kassa?), wittenbergi professzor 1540-ben megjelent *Narratio prima* című, Kopernikusz munkája alapján készült könyvből ismerhette meg az akkori Európa. Kopernikusz fő műve, a **De revolutionibus orbium coelestium (Az égi pályák körforgásáról)**, csak 1543-ban jelent meg Nürnbergben, halála évében. Ettől az évtől számítják sokan az újkori tudomány kezdetét.

A vizsgálandó probléma:

A ptolemaioszi földközéppontú modell nagyon pontatlanul írja le az égitestek helyzetét. Továbbá bonyolult módon helyezi el a köröket. Nem ad kielégítő, valójában semmilyen, magyarázatot pl. a bolygók retrográd mozgására.

Kutatási kérdés:

- Milyen új modellel lehetne pontosabban és egyszerűbben leírni az égitestek helyzetét?
- Hogyan lehetne a köröket (deferensek és epiciklusok) alkalmasabban elhelyezni, hogy azok magyarázatot adjanak pl. a retrográd mozgásokra?

Kopernikusz heliocentrikus világgépe – szemben Ptolemaiosz geocentrikus modelljével – egyszerű és logikus magyarázatot ad olyan égi jelenségekre, mint a bolygók fényességének változása, a retrográd mozgások, vagy a Hold fázisainak különbözősége. A Földnek a többi bolygó közé sorolásával Kopernikusz megszüntette az éles különbségtételt a földi és az égi események között. Modelljének egyetlen hibája, hogy ragaszkodott a bolygók körpályájához. Ezért is késlekedett művének kiadásával, mert az így számított bolygópozíciók a körpályák feltételezése miatt pontatlanabbak voltak a korábbiaknál. A problémát később Keplernek sikerült megoldania ellipszis pályák feltételezésével. Sajnálatos tény, hogy míg Ptolemaiosz a teljes égi mozgást 40 kör felhasználásával vélte leírni, addig Kopernikusznak a pontatlanabb leíráshoz 48 epiciklusra volt szüksége. Napközéppontú modellje végül valójában egyáltalán nem volt egyszerűbb, mint a ptolemaioszi, de azt csak kevesen ismerték. Amit ismertek, és napjainkban is erre hivatkoznak, az az egyszerűsített modell, melynek középpontjában a Nap található. És igazából ez az, amelyik hatott a későbbi korok tudósaira. Ezt nevezik sokan kopernikuszi fordulatnak.

Kopernikusz feltevései:

„1. Az égitesteknek és égi szféráknak nincs egyetlen központjuk.

2. A Föld központja nem központja az univerzumnak, hanem csak a gravitációnak és a Hold szférájának.

3. Minden szféra a Nap mint középpont körül mozog, így a Nap az univerzum központja.

4. A Föld–Nap-távolság aránya a csillagos ég magasságához olyan sokkal kisebb, mint a Föld sugarának aránya a Naptól mért távolságához, hogy a Föld–Nap-távolság észrevehetetlenül kicsi a csillagos ég magasságához képest.

5. A csillagos ég mozgásának látszata nem a csillagos ég valódi mozgásának, hanem a Föld mozgásának következménye. A Föld a környező elemekkel együtt naponta egyszer megfordul rögzített pólusai körül, míg a csillagos és a legfelsőbb mennyek mozdulatlanul maradnak.

6. A Nap mozgásának látszata nem saját mozgásának, hanem a Föld mozgásának következménye, mellyel ugyanúgy keringünk a Nap körül, mint bármelyik másik bolygó. Így a Földnek egynél több mozgása is van.

7. A bolygók látszó retrográd és direkt mozgásai nem saját mozgásuknak, hanem a Föld mozgásának következményei. A Föld mozgása tehát képes magyarázatot adni az egek mozgásában látszó számos egyenlőtlenségre.”

Idézi: Kutrovác Gábor: MIÉRT HELYEZTE KOPERNIKUSZ A NAPOT A KÖZÉPPONTBA? Magyar Tudomány. 2015 Március 258-268. oldalak

<http://www.matud.iif.hu/2015/03/01.htm>

Kopernikusz: Copernicus, Nicolaus (1543): De Revolutionibus Orbium Coelestium. Petreius, Nürnberg. <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-420>¹

Kepler (1571 Weil der Stadt-1630 Regensburg)

Johannes Kepler 1571-ben született **Weil der Stadt**ban. Egyetemi tanulmányait **Thübingen**ben végezte, ahol a kopernikuszi tanokkal is megismerkedett. 1594-től **Graz**ban tanított, ahol naptárakat is készített a kor szokásainak megfelelő asztrológiai jóslatokkal. 1600-ban lett Tycho de Brahe (1546. Knudstrup – 1601. Prága) aszisztense, majd egy évvel később utóda **Prágában**, mint Rudolf császár udvari matematikusa és csillagásza. Itt jelent meg 1609-ben az Astronomia nova (Új Csillagászat), amelyben a róla elnevezett 1. és 2. törvényt találjuk. Az 1611-ben megjelent Dioptrice (Optika) című munkájában a kis szögekre érvényes törési törvény, a Galilei-féle távcső elmélete és a Kepler távcső leírása található. Ezért az optika, mint tudományterület megalkotójának is tekintik. 1619-ben jelent meg a Harmonices mundi (Égi Harmóniák), amely a róla elnevezett 3. törvényt is tartalmazza. 1630-ban halt meg **Regensburgban**.

¹ Idézi: Kutrovác Gábor: MIÉRT HELYEZTE KOPERNIKUSZ A NAPOT A KÖZÉPPONTBA? Magyar Tudomány. 2015 Március 258-268. oldalak

<http://www.matud.iif.hu/2015/03/01.htm>

Kopernikusz: Copernicus, Nicolaus (1543): De Revolutionibus Orbium Coelestium. Petreius, Nürnberg. <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-420>

A 16-17. században a kopernikuszi elképzelés mellett tudományos körökben népszerű volt a Tycho Brahe által használt modellel is, mely a geocentrikus és a napközéppontú modellek „keverékének” tekinthető. A középpontban a Föld áll és a Nap kering körülötte, az összes többi bolygó pedig a Nap körül kering. Ezt egyiptomi rendszernek is nevezik, melyet a görög Herakleitosz talált ki az ókorban.

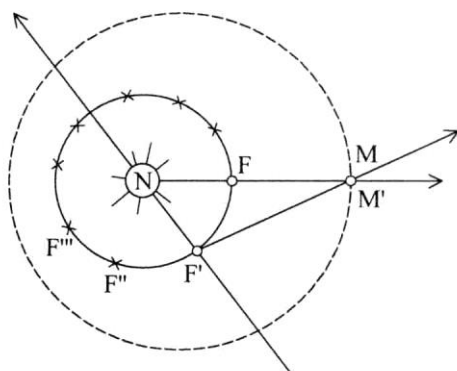
Ticho de Brahe 1546-ban született Dániában. II. Frigyes dán király udvari csillagásza volt, akinek halála után költözött Prágába 1597-ben, Rudolf császár udvarába. Közel húsz éven keresztül figyelte, és jegyezte fel a bolygók mozgását (a Földről megfigyelhető látószögét) az akkor elérhető legnagyobb pontossággal. 1601-ben bekövetkezett halála után ezeket az adatokat felhasználva tudta Kepler megfogalmazni törvényeit.

A korszak tudományos problémája: Egyik modell, sem a kopernikuszi, sem pedig az egyiptomi, nem írta jól le a valóságot, nem volt összeegyeztethető a megfigyelési adatokkal.

Kutatási kérdés: Milyen lehet akkor a bolygók pályája? Hogyan lehet a Mars „valódi” pályáját, mármint a Nap körülit, meghatározni Brahe már meglévő megfigyelési adatainak felhasználásával? Hogyan kell az adatokat csoportosítani?

A megfelelő modell kiválasztása: Kepler az abban az időben létező világmodellek közül a *kopernikuszi modellt* fogadta el, vagyis az egész rendszer középpontját a Napba helyezte. Kepler zsenialitását és merészségét bizonyítja, hogy hajlandó volt a körkörösség eszméjétől megszabadulni, és valamilyen más görbét keresni, melyet végül az ellipszisben talált meg. Kepler gondolatmenetét Simonyi könyve alapján idézzük fel (Simonyi 1978).

A Földpálya alakja



NFM kiindulási helyzet
 $\sphericalangle_{F'NF}$ és $\sphericalangle_{F'MF}$ → pont

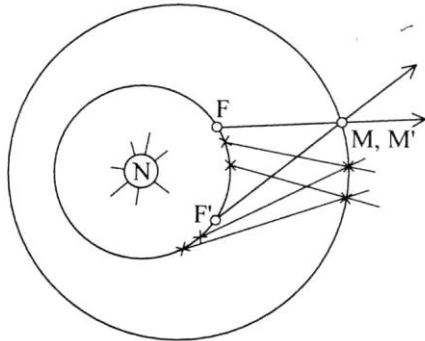
A földpálya alakjának meghatározásához Kepler egyedülálló ötlettel állt elő, a megfigyelő pozícióját a Marsra helyezte át. Kiinduló helyzetként az szerepelt, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenesbe esik (NFM). Ismerete továbbá a Mars Nap körüli keringési idejét, ez 687 nap, tehát ennyi idő elteltével a Mars ismét a kiindulásival azonos térbeli helyzetbe kerül. A Föld viszont ebben az időpontban pályájának valamilyen F' pontjában lesz.

Ezt a pontot pedig meg lehet szerkeszteni, ha ismerjük a *Nap – Föld és a Mars – Föld irányt*. Újabb 687 nap múlva a Mars ismét ugyanebben a helyzetben lesz, míg a Föld pályájának egy másik, F'' pontjában, mely szögmérések segítségével ismét megszerkeszthető. És így tovább, vagyis anélkül, hogy bármi egyebet tudnánk a Mars pályájáról, mint a keringési időt, a Föld pályájának az alakja megszerkeszthető.

A távolságok itt és a későbbiekben is relatív távolságok. Minden távolság a Föld Naptól mért távolságához viszonyítva van kifejezve.

A Mars pályája

A Földpálya ismeretében határozta meg *Kepler* a Mars pályáját. Az egyes pontok megszerkesztéséhez a következő gondolatmenetet használta: Előzetes tudásként ismét felhasználta azt, hogy a Mars Nap körüli mozgásának periódusideje 687 nap. Tehát 687 naponként a Mars ugyanabban a térbeli helyzetben van. Válasszunk ki két, egymástól 687 napnyi „távolságban” lévő helyzetet a Földpályán. Ha megmérjük a Mars irányát mindkét helyzetben, akkor a két irányvonal metszéspontja kijelöli a marspálya egyik pontját.



Δ_{NFM} és $\Delta_{NF'M'}$ ($\Delta t = T = 687$ nap)
szögpárok 687 napnyi „távolságban”

A fent említett szerkesztést kell sok esetben elvégezni, hogy minél több pont legyen az ismeretlen görbén. A hosszú évekig tartó mérésorozatot nem kellett *Keplernek* elvégezni, hiszen rendelkezésére álltak *Brahe* adatai, „mindössze” a számára szükségeseket kellett abból kiválogatni. Vagyis a 687 naponkénti adatpárokat kellett kikeresni és megszerkesztetni az egyes pontokat. Így valójában meg lehetett kapni a pálya „nyomképét”, melyből a bolygó pálya menti sebessége, illetve annak változása is „látható” volt. (Az azonos időszakosok végpontjaiban kapott pontok sűrűsége alapján.) Ez a magyarázata annak, hogy *Kepler* valójában a róla elnevezett 2. törvényt előbb fogalmazta meg, mint az első.

Azt, hogy ezek a mérési eredmények milyen görbére illeszthetők, szintén nem volt könnyű feladat megtalálni. A kúpszeletekkel, így az ellipszissel már az ókori görögök is sokat foglalkoztak. Ezt a tudást felhasználva lehetett azonosítani a pálya alakját, mint ellipszist.

Kepler munkája alapvető volt a newtoni fizika kialakulásához. Kortársai viszont nem igazán értékelték. Galilei sem értette meg a Kepler törvények jelentőségét. Ez a feladat Newtonra és kortársaira várt.

Geo- és heliocentrikus világgép

Természetesnek vesszük azt, hogy egy adott korban a tudósok látásmódját erősen befolyásolja az adott korszak ideológiája, amelytől nagyon nehezen tudnak csak megszabadulni. Erre kiváló példa az egyenletes körmozgás, amelyet Platon (i.e. 427. – 347. Athén) vezetett be, Arisztotelész (i.e. 384. Sztagira – 322. Kalkisz) emelt „dogmává”, majd hosszú évek múlva Ptolemaiosz egyenletes körmozgásokból próbálja összerakni a bolygók pályáját, a deferensek mellett számtalan segédkört, epiciklust felhasználva. Évszázadok múlva Kopernikusz is addig helyezi a köröket, amíg végül a bolygók mozgását ő is le tudja írni egyenletes körmozgások eredőjeként. Így természetesnek vehető, hogy Kepler is mindenáron körre akarja illeszteni a megfigyelésekből nyert adatokat. Kivételes zsenialitásának és legalább ennyire kitartásának köszönhető az, hogy megszabadul ettől a „dogmától” és több „vargabetű” után felfedezi, hogy az ellipszis a megfelelő görbe, majd a többi róla elnevezett törvényt.

Kepler Mars pályájával kapcsolatos kérdését már eleve egy modell keretei között fogalmazta meg, nevezetesen a kopernikuszi modellt választotta. A Föld és a többi bolygó keringési idejének eleve csak ebben a modellben van értelme. A pályák alakjára vonatkozóan különböző hipotézisei voltak. Ilyen volt az addigi modellekben kizárólagosan szereplő kör. Megpróbálkozott tehát a kiválasztott észlelési adatok alapján kapott pontoknak körre való illesztésével. És ez a hipotézis nem válik be. Újat kell keresni. Végül rátalál az ellipsziszre, de csak azért tudja ezt megtenni, mivel már ismert volt az ellipszis fogalma. Ezt a görbét nem neki kellett felfedezni.

Jellemző volt *Kepler* egész gondolkodásmódjára, hogy a pálya meghatározását nem egyszerű geometriai problémaként kezelte, ahogy addig mindenki, hanem *fizikai erőkkel kapcsolatos oksági magyarázatot* keresett. A Nap központi helyre való állításában is kifejeződött ez, mert Kepler már a tömegvonzásra is gondolt. *Új fogalmi rendszerbe illesztette a problémát, másképp látta, mint azt elődei tették.* Továbbá *Brahe* példájából látható, hogy hiába végez valaki rendkívül pontos megfigyeléseket, csupán csak a mérési adatokból nem tud törvényszerűségeket kiolvasni. *Koestler* (444.o.) igen szellemesen a következőt írja: „*Tudni kell használni az észleleteket; a nehézséget az okozza, hogy mikor vegyük figyelembe az egyiket, s mikor a másikat.*”²

Galilei (1564 Pisa – 1642 Firenze)

Galileo Galilei 1564. február 15-én született **Pisában**, majd a család **Firenzébe** költözött. Galilei ott járt iskolába. 1580-ban beiratkozott a pisai egyetem orvostudományi karára. Egyetemi évei alatt behatóan foglalkozott matematikával is, Eukleidész geometriáját tanulmányozta. 1585-ben fejezte be tanulmányait és visszatért Firenzébe, ahol néhány tehetős polgárnak adott matematika órákat. 1589-ben a pisai egyetem professzora lett. Ebben az időben érlelődött meg meggyőződéses Arisztotelész ellenessége, kimutatta az arisztotelészi fizika támadható pontjait. 1590-ben találta meg a szabadesés törvényét. 1592-ben a **padovai** egyetemen vállalt katedrát, ahol a dinamika kérdéseivel kezdett foglalkozni. Itt ismerkedett meg élettársával, akitől három gyermeke született. 1595-ben állapította meg az ingamozgás törvényszerűségeit, 1600-ban pedig felismerte a tehetetlenség törvényét. (Ezt ma Newton I. törvényének nevezzük.) 1610-ben fedezte fel a Jupiter négy holdját. Ez az eredmény megerősítette hitét a kopernikuszi világkép helyességében. Ez évben felfedezte még a Szaturnusz bolygó gyűrűjét és észlelte a napfoltokat. 1615-ben feljelentették az Inkvizíciónál. Ezt követően közölték vele, hogy Kopernikusz tanait bármilyen formában tilos tanítania. 1624-ben fogott hozzá a *Dialogo* megírásához, amely 1632-ben jelent meg Firenzében. A pápa, aki Simplicio alakjában magára ismert. A kopernikuszi tanok nyílt népszerűsítése vádjával a könyvet betiltották, Galileit pedig **Rómába**, a Szent Hivatal Kollégiuma elé idézték. 1633. június 22-én olvasták fel az Inkvizíció ítéletét. Ez után élete hátralévő részét háziőrizetben töltötte. Utolsó nagy művét, a *Discorsit*, az első modern fizikatankönyvet ekkor írta meg. Ebben írta le az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgásokra vonatkozó törvényeket, híres lejtős kísérletét. 1642. január 8-án hal meg Firenzében egy évvel Newton születése előtt.

Galilei munkásságával több dokumentumban is foglalkozunk. Ebben a részben az ingamozgás tanulmányozására térünk ki, mely szintén a korszak egyik tudományos problémája volt.

Kutatási kérdés: Milyen tényezőktől függ az inga lengésideje?

A vizsgálathoz célszerű leegyszerűsíteni a problémát. Milyen ingát tudunk vizsgálni? Egy kiterjedt testet hozunk lengésbe? Célszerű egy elhanyagolható tömegű fonál végére helyezni valamilyen pontszerűnek tekinthető testet és azt lengésbe hozni. A kitérítés ne legyen túl nagy.

Lehetséges hipotézisek: a lengésidő függ

- a kitérítés mértékétől,
- a lengésbe hozott fonál hosszától,

² Arthur Koestler: *Alvajárók*. Európa Kiadó. 1996.

- a fonál végére helyezett tömegtől.

A méréshez a következőket célszerű átgondolni:

- Hogyan lehet az egyes hipotéziseket vizsgálni?
- Milyen mennyiségeket kell mérni, mivel és hogyan?
- Hogyan célszerű az adatokat rögzíteni?
- Az összefüggések felismeréséhez milyen grafikont célszerű elkészíteni?
 - Mi szerepeljen a grafikon vízszintes és függőleges tengelyén?
 - Milyen függvényt lehet illeszteni a mérési adatokat jelképező pontokra?

Fontos és meglepő következtetés volt, hogy a lengésidő nem függ a fonál végére akasztott tömeg nagyságától. Továbbá kis kitérés esetében a kitéréstől sem.

Newton (1643 Woolsthorpe -1727 London)

Isaac Newton_1643. január 4-én született, melyet apja már nem élt meg, **Woolsthorpe**-ban. Édesanyja másodszor is férjhez ment, ezért nagyanyjára bízta Isaac-ot._Falusi iskolába járt, majd a városi iskolába írták. Édesanyja másodszor is megözvegyült. Fiát kivette az iskolából, mert gazdálkodót akart belőle nevelni. De az iskolában tanára rábeszélte, hogy hagyja fiát tanulni._A középiskola után **Cambridge**-be ment tanulni a Trinity College-be. 1665-1666. pestisjárvány dült, mely miatt Newton hazament, és ebben az időszakban jött rá a differenciál- és integrálszámítás alapjaira, továbbá a gravitációs erőtvényre. 1670-től adott elő a Trinity College-ban, elsősorban fénytant._1672-ben küldte el saját készítésű tükrös távcsövet a Királyi Társaságba. A csillagászati megfigyelésekhez azóta is elsősorban tükrös távcsövet használnak.

1687-ben jelent élete fő műve: Philosophiae Naturalis Principia Mathematica címmel. (A természetfilozófia matematikai alapjai)_1696-tól a pénzverde öre._1699-től a pénzverde igazgatója. 1704-ben jelent meg Optika című könyve, mely kísérleti leírásokat tartalmaz. Ebben írta le híres prizmás kísérletét, mellyel a fehér fényt színeire bontotta. 1703-tól 1727-es haláláig volt a Királyi Társaság (Royal Society) elnöke **Londonban**. Soha nem nősült meg.

Az erő mértékegységét nevezték el róla. 1 N az az erő, mellyel egy 1 kg tömegű testet 1 s alatt 1 m/s sebességre lehet felgyorsítani.

„Égi és földi mechanika egyesítése”

Milyen ismeretekre támaszkodhatott Newton a mozgás leírásában? A következő ismeretek álltak rendelkezésére:

- Galileitől a szabadesés leírása,
- Descartestől és Huygenstől az ütközések leírása,
- Huygenstől körmozgás gyorsulása,
- Kepler törvények.

A korszak tudományos problémája: Nem tudták megmagyarázni, hogy ha a földfelszín közelében lévő testek leesnek, akkor a Hold miért nem esik le a Földre? Vajon az égen és a Földön más törvényszerűségek érvényesek, ahogy Arisztotelész gondolta?

Kutatási kérdések: Mik lehetnek a mozgások leírásához általánosan használható törvények? Hogyan lehet ezekből megkapni, levezetni Kepler törvényeit?

A Principia szerkezete:

- 1.) A testek mozgása (tömegpont), 3 axióma
- 2.) A testek mozgása sűrűlódó közegben
- 3.) Gravitáció, a bolygók mozgásának leírása

A Royal Society 1686-os jegyzőkönyvében a következőképp jellemzi könyvét:

„A Kopernikusz- féle hipotézis Kepler által adott változatának matematikai bizonyítása”

A newtoni fizika leglényegesebb megállapítása, hogy nem a mozgás fenntartására, hanem ennek megváltoztatásához szükséges erőhatás. A mozgás állapot, nem pedig folyamat.

A könyv első részében található a tömegpont mozgásának leírásához használható és róla elnevezett három törvény, melyek valójában inkább axiómáknak tekinthetők. Ehhez az oktatás során hozzá szoktak tenni egy negyediket, mely az erők vektoriális összegzését mondja ki. De ez nem külön axióma Newtonnál, hanem ezeket követően mondta ki úgynevezett korroláriumként (származékos tétel).

A kortársak a mű érdemét a harmadik részben látták, mely a gravitációs erőtvényt tartalmazza. Egyedüli érdeme, hogy e felhasználásával le tudta vezetni a Kepler törvényeket. Ezt azért fontos megjegyezni, mivel az $1/R^2$ –es távolságfüggést sokan megsejtették, de ennél tovább nem jutottak.

Ehhez nem az általa megkonstruált integrálszámítás módszerét alkalmazta, mivel azt kortársai nem értették volna, hanem a kor által használatos geometriai módszereket.

Ebben a részben kifejezetten sok megfigyelési adat is található, mint például a Jupiter és a Szaturnusz holdjainak különböző időpontokban mért helyzetei. Ezekre azért volt szüksége, hogy számításait empirikus adatokkal tudja összevetni. Ezekből látható, hogy a gravitáció törvényét általános és egyetemes összefüggésnek gondolta, ahogy napjainkban is így gondoljuk, nem csak a Nap és bolygói esetében, hanem minden égitestet illetően. Továbbá megmutatta, hogy a különböző égitestek nem csak elliptikus, de akár hiperbola- vagy parabolapályán is mozoghatnak.

Munkájának jelentősége az is, hogy megmutatta, hogy az égitestek és a Földön lévő tárgyak mozgását ugyanazon természeti törvények határozzák meg.

A Principia azonnal nemzetközi hírnevet hozott Newtonnak, bár a kontinens tudósai a távolhatás elvét, ahogy maga Newton is, elvetették. Napjainkban ténylegesen kimutatták, hogy a fénysebességgel terjedő hatást a gravitációs hullámok továbbítják.

Az erő SI mértékegysége Newton nevét viseli.

Optika

Newton korában azt tartották, hogy bizonyos színjelenségek, például a szivárvány, a fény módosulásának következményei, amikor a fénysugár valamilyen anyagon halad keresztül.

Kutatási kérdés: Honnan ered a fény színe?

Newton elvetette a korszak tudósaira jellemző, a fény módosulásának gondolatát. Hipotézise szerint a fehér fény összetett. A színek pedig abból erednek, hogy a keverék komponensekre bomlik. A különböző színű sugarak különbözőképpen törnek meg a prizmán, ahogy leírta, tehát a kevert fehér fényt a prizma komponensekre bontja, és például a

szivárvány is fénytörési jelenség. Továbbá a szétválasztott színek egyesíthetők, melyhez a színekre bomlott fénysugár szintén valamilyen anyagon hald át. Tehát az az elképzelés nem állja meg a helyét, hogy a fénysugár színekre bomlása során módosulnának a fényrészecskék.

Newtont a fenti felismerése győzte meg a fény korpuszkuláris természetéről, hogy az egyes fénysugarak tulajdonságai állandónak bizonyultak. Elképzelése szerint ezt a sajátságot állandó anyagi részecskék hozzák létre. Azt tartotta, hogy az adott sugarak (vagyis adott méretű részecskék) adott színek érzetét keltik, amikor a szem retinájába ütköznek.

Newton úgy gondolta, hogy a lencsék színi eltérése soha nem küszöbölhető ki, ezért készített tükrös távcsövet. Newton nagy tekintélye miatt akromatikus lencse előállításával halála után évtizedekig nem is kísérleteztek. De végül különböző törésmutatójú lencséből álló összetett lencserendszer segítségével mégis előállítottak ilyet. Továbbá a későbbiek során a korpuszkuláris elméletet is felváltotta a hullámelmélet. Mai elképzelésünk a fényről kicsit visszahozta Newton gondolatait, miszerint fotonokban gondolkozunk. A fotoeffektus jelenségének magyarázatához az oszthatatlan fénykvantumok elképzelése vezetett.

Huygens (1629 Hága - 1695. Hága)

Christiaan Huygens 1629-ben született **Hágában**. Előbb matematikát tanult a **leideni** egyetemen, majd két évig jogot tanult a **bredai** Orange Főiskolán, majd a természettudományok és a matematika felé fordult érdeklődése.

Huygens munkássága, alább felsorolt eredményei nagyon nagy mértékben elősegítették, illetve hozzájárultak az újkori tudomány fejlődéséhez, a newtoni mozgásszemlélet kialakulásához.

Tökéletesített távcsövével 1655-ben fölfedezte a Szaturnusz legnagyobb holdját, a Titánt, és felismerte, hogy a bolygót gyűrű övezi.

1657 feltalálta az ingaórát. Kidolgozta a matematikai és fizikai inga elméletét. 1673-ban adta ki Az ingaóra című könyvét, melyet sok évi számítások és töprengések során alkotott.

1665-ben Hooke-kal közösen a jég olvadáspontját és a víz forráspontját tették meg a hőmérő alappontjainak. 1667-ben kimutatta, hogy a víznek a fagyás során megnő a térfogata.

1668-ban dolgozta ki a fény hullámelméletét, amelyet az 1690-ben megjelent 'Értekezés a fényről' című könyvében fejtett ki. Ebben írta le a fényterjedés természetére jellemző Huygens-elvet. 1678-ban felfedezte a fénypolarizációt. A Huygens-elvet később Fresnel tökéletesítette 1819-ben (Huygens-Fresnel-elv).

- Minden olyan pont, ahová a hullám elért, elemi hullámok kiindulópontjának tekinthető (Huygens).
- Egy későbbi időpontban észlelt hullámjelenséget ezen elemi hullámok interferenciája határozza meg (Fresnel kiegészítése).

1669-ben megadta a rugalmas ütközés törvényeit.

A körmozgást vizsgálva 1673-ban bevezette a centripetális erő fogalmát.

A mechanikai energia megmaradásának gondolata is tőle származtatható.

A **londoni** Royal Society tagja 1663-tól. 1666-ban **Párizsba** költözött, ahol a francia Royal Society tagja lett. 1665-től XIV. Lajos meghívására a párizsi Természettudományos Akadémia tagjaként dolgozott. Egy komoly betegség után 1681-ben visszavonult Hágába, ahol 14 évvel később, 1695. július 8-án meghalt.

A korszak *mozgásokkal* kapcsolatos kérdése az volt, hogy milyen mozgás tekinthető az úgynevezett erőmentes mozgásnak? Melyik mozgás fennmaradásához nem szükséges erőhatás?

Huygens fontos felismerése volt az egyenletes körmozgás gyorsuló jellege, holott azt tekintették sokáig az erőmentes mozgásnak.

Már Keplernél felmerült az egyenes vonalú egyenletes mozgás erőmentes jellege, de ezt többen lehetetlennek vélték, hiszen akkor a test a végtelenbe tartana, mely elképzelhetetlennek tűnt. Napjainkban pedig azt vizsgáljuk, hogy mi okozza test pályájának görbületét pl. gravitációs, elektromos vagy mágneses mezőben.

Problémafeladat: azonos magasságú lejtőkön leguruló testek vizsgálata Huygens nyomában.

Kutatási kérdés: Milyen tényezőktől és hogyan függhet az azonos h magasságú lejtőkről leguruló testeknek a lejtőt tetejéről a lejtő aljára érkezésének ideje?

Lehetséges hipotézisek

- azonos idők alatt gurulnak le,
- függ a testek tömegétől,
- függ a hajlásszögtől,
- függ a lejtőn megtett úttól, stb.

A méréshez a következőket célszerű átgondolni:

- Hogyan lehet az egyes hipotéziseket vizsgálni?
- Milyen mennyiségeket kell mérni, mivel és hogyan?
- Hogyan célszerű az adatokat rögzíteni?

A test egyenes vonalú egyenletesen változó mozgást végez $a = g \cdot \sin\alpha$ gyorsulással, mely a mozgásegyenletből kifejezhető, továbbá $\sin\alpha = h/s$, ahol s a lejtő hossza. Ezt beírva $a = g \cdot h/s$. Továbbá ismert a négyzetes úttörvény, miszerint a test által megtett út $s = a \cdot t^2/2$.

Beírva a gyorsulást $t = s \cdot \sqrt{\frac{2}{g \cdot h}}$.

Vagyis elméletileg megmutatható, hogy a lejtő aljára érkezés ideje a lejtő hosszától, a teljes úttól függ. Ez persze függ a hajlásszögtől. Ellenben a tömegtől nem függ!

A fény természetének problémája I.

A fény mibenlétének kérdését régóta kutatta az emberiség. A látás ténye is izgatta az emberek fantáziáját, és a legkülönbözőbb hipotéziseket állították fel erre vonatkozóan. Az egyik legérdekesebb talán az ókori görögök idejében megjelent egyik elképzelés volt, miszerint a szemből látósugarak indulnak ki, amelyek letapogatják a tárgyakat. Héron (i.sz. 10. – 70. Alexandria) is ezt gondolta, aki az alexandriai iskola tagja volt az ókorban! Ellenben az évszázadokkal korábban élt Arisztotelész (i.e. 384. Sztagira – 322. Kalkisz) a tárgyról leváló hátrayaként értelmezte a látást.

Egy másik kiemelkedő alexandriai tudós volt Claudius Ptolemaiosz, aki kr. előtti második évszázadban élt. Optika című könyvében többek közt a fénysugarak fénytörését is tárgyalja. Ptolemaiosz mérési táblázatot is összeállított a levegőben mért különböző beesési szögekhez tartozó, vízben való törési szögekre.

A törési törvény felismerése és helyes leírása megtörtént már az iszlám aranykorban. **Ibn Sahl** (940-1000) 984-ben írt könyvében, melyben elsősorban a gömbtükrökről és a

lencséről értekeznek, valójában helyesen írja le a törési törvényt, melyet nem szögekkel, illetve szögfüggvényekkel fogalmazott meg, hanem szakaszok arányaként. Ez a leírás gyakorlatilag ekvivalens a Snellius és Descartes által adottal. Továbbá ezen ismeretet is felhasználva mutatta meg Ibn Sahl, hogy a lencsék esetében a fény összegyűjthető egyetlen pontba, a fókuszpontba.

Az optika területén a legjelentősebb arab tudós **Ibn al-Haytham**, latinosan *Alhazen* aki kr.u. 965 (Basra, Irak) és 1039 (Kairó, Egyiptom) között élt. Alhazen munkássága komoly forrásként szolgált az európai reneszánsz tudósnemzedék számára, mint például Kepler és Galilei. A 1011 és 1021 között készült Optika (*Kitab al-Manazir*) című hét kötetes könyve (*Kitab* arab, jelentése *könyv*) a legjelentősebb középkori munkának tekinthető. Latinra egy ismeretlen szerzetes fordította le a 12. század végén 13. század elején, majd 1572-ben adták ki.

Könyvében Alhazen definiálta az *átlátszó és az átlátszatlan test* fogalmát. Megkülönböztetett elsődleges és másodlagos fényforrásokat. Elsődlegesnek tekintette a Napot, melyből a minden irányban jövő fénysugarak megvilágítják a tárgyakat, majd a tárgyról kiinduló gyengébb sugarak (a visszavert fény) érkeznek a szembe. Tárgyalja a szem szerkezetét, a látás mechanizmusát, a fény útjának meghatározását a látás során. Elvetette a látás ókori látósugár elméletét. Alhazen szerint nem a szem bocsát ki sugarakat, hanem éppen hogy azok érkeznek a szembe a tárgyról. Példaként hozta fel, hogy a nagyon erős fényforrásba való belenézés károsítja a szemet. A testeket a róluk visszavert, és a szembe érkező fénysugár miatt látjuk.

Könyvében tárgyalja a sötétkamra (*camera obscura*) működését a fénysugár elképzelés alapján. A fordított állású képet a fénysugár elképzeléssel magyarázta. Vizsgálta, hogy különböző csöveken keresztül milyen esetben lehet átlátni. Például egy egyenes cső végében lévő gyertyát látjuk, de amennyiben meghajlítjuk a csövet, akkor már nem látjuk. Vagy ha bedugjuk a cső végét, akkor sem látjuk azon keresztül a gyertyát, hiszen a fénysugarak nem kerülnek meg a csövet. Ezeket a kísérleteket napjainkban is alkalmazzuk az oktatás során a fény egyenes vonalú terjedésének bemutatásához.

A *homorú és a parabola tükrök visszaturkózását* is vizsgálta. A *fénysugár geometriai modellje* alapján gondolt ki kísérleteket, végezte el azokat, majd könyvében leírta, hogy más is *megismételhesse*. Ezzel egyben megteremtette a *tudományos megismerési módszer* alapjait is.

A Holdat úgy tekintette, mint egy olyan test, amely visszaveri a fényt. A sötétséget úgy határozta meg, mint a fény hiányát. Az árnyékjelenséget a fény egyenes vonalú terjedésének következményeként magyarázta.

A fényt véges sebességgel terjedő „hatásnak” gondolta, mely sebesség jóval nagyobb kell, hogy legyen, mint a hang terjedési sebessége. Hasonlóképpen gondolkodott több kortársa is ebben a kérdésben, mivel a fényforrás bocsátja ki a fényt, melyet kis részecskének gondoltak.³

Mint már említettük, Galilei és Kepler is Alhazen könyvéből tanulták az optikát, mely segítségükre volt távcsövük megalkotásában. Decartes a törési törvény megalkotásához a fény hullámmodelljét használta. A 17. században a korszak egyik fontos tudományos kérdése a *fény mibenléte* volt: hullám, vagy részecske?

³ http://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_Sahl_BEA.htm

http://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_al-Haytham_BEA.htm

Huygens a fényt Newtonnal korpuzskuláris elképzelésével ellentétben hullámnak gondolta. Mégpedig longitudinális hullámnak, holott a fény transzverzális jellegét bizonyító polarizációt is ő fedezte fel. A fény hullámelmélete alapján sikerrel magyarázta meg a fényvisszaverődés, a fénytörés és a kettőtörés törvényeit.

Newton egyik fő érdeme a színek tanulmányozása volt. Ő mutatta ki elsőnek, hogy a fehér fény a valóságban különböző színű fénysugarak keveréke a prizmás fényfelbontás alapján. Azonban tévesen arra a következtetésre jutott, hogy a lencsék elkerülhetetlen belső hibája akadályozza, hogy a tárgyakról éles képet alkossanak, mivel a különböző színű sugarakat nem lehet a lencsétől azonos távolságban fókuszálni. Ezért azt hitte, hogy a lencsés távcsövek nem tökéletesíthető tovább és ezért megalkotta a színtől független visszaverődésen alapuló tükrös távcsövet.

Newton felfogását a későbbiekben egyszerűsítették csak le, és fogalmazták meg úgy, hogy a fényt egyszerűen sima golyók áramlásának tekintette. Elhagyták az ezzel kapcsolatos kételkedő álláspontját.

Huygens szerint a fény terjedése úgy jön létre, hogy a fényt kibocsátó test meglöki a körülötte lévő igen finom anyagnak, az éternek a részecskéit, majd ezek a meglökött részek rugalmas golyók módjára továbbadják mozgásállapotukat, akárcsak a hang esetében. Azt a feltételezett közeget, amelyben a fény hullámjelenségei lejátszódnak, azaz a fényhullámok mechanikus hordozóját Huygens óta "éter"nek nevezték, melyet Einstein vetett el.

Valójában a fény hullám, vagy részecsketermészetének kérdése sokáig eldöntetlen maradt. 1800-ban megjelent azonban Thomas Young (1773 Milverton - 1829. London) angol fizikus Kísérletek és kutatások a hangról és a fényről című tanulmánya. Ebben több, interferenciával magyarázható, vagyis egyértelműen hullámmodellt feltételező kísérletéről számol be.

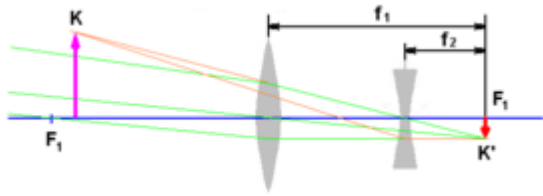
A képpalkotás is interferenciajelenség. A tárgy és a képpont között minden fénysugárra meg kell egyezzen az optikai úthossz. Ez azt jelenti, hogy a tárgypontról különböző irányokban elinduló, az úgynevezett tárgyhullámok, a képpontban fáziskülönbség nélkül találkoznak, tehát erősítik egymást. A leképezéshez használt optikai rendszer tehát a tárgyter pontjaiból kiinduló fénysugarak irányát úgy módosítja, hogy az egy pontból kiinduló sugarak, vagy ezek meghosszabbításai ismét egy pontban találkozzanak.

Michael Faraday azt is tudni kívánta az anyagok mágneses tulajdonságainak vizsgálata során, hogy az optikai jelenségeket is befolyásolja-e a mágneses mező, mintegy megsejtve azt, hogy a fénynek is köze lehet az elektromágneses mezőhöz. Ez irányú kísérleteinek eredménye lett az a felismerése, hogy a mágneses mezőbe helyezett átlátszó anyagokban a fény polarizációs síkje elfordul. Ezt a jelenséget Faraday-effektus néven ismerjük.

Napjainkban a fényt egyrészt elektromágneses hullámnak tartjuk, mellyel az elhajlási és interferenciajelenségek magyarázhatók.

Másrészt oszthatatlan fotonnak, mely inkább részecskemodell, mellyel a fotoeffektus magyarázható.

Távcső, mikroszkóp, vetítő

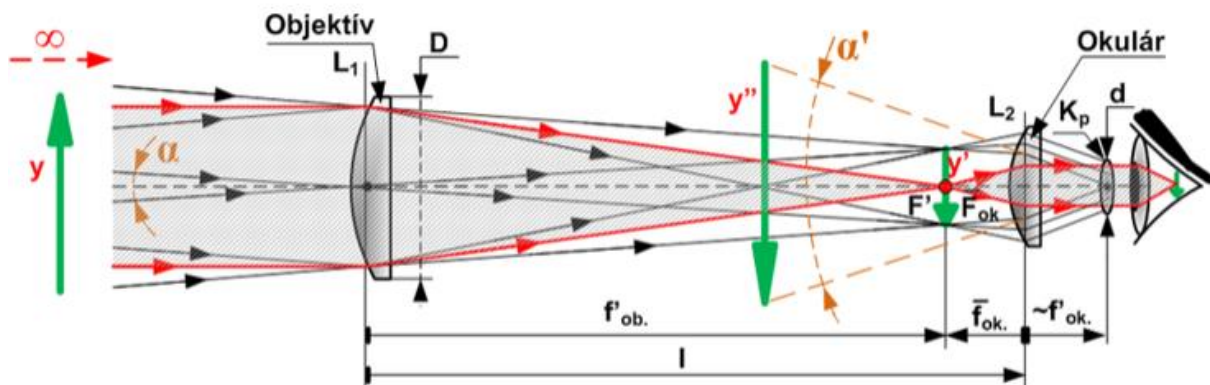


A Galilei-féle távcső képalkotása

A Galilei-féle (holland) távcsőben, illetve az egyszerű színházi távcsőben az objektív gyűjtőlencse, az okulár szórólencse. Egyenes állású látszólagos képet ad. A távcső hossza a két gyűjtőtávolság különbsége ($L = f_1 - f_2$)

$$\frac{f_1}{f_2}$$

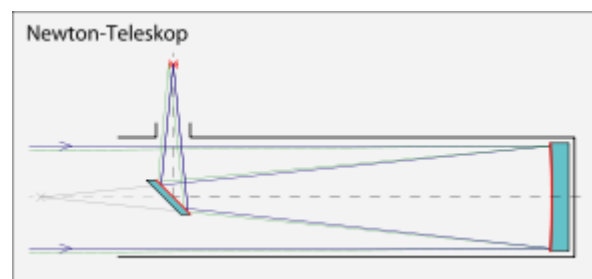
A szőgnagyítása a tárgylencse (f_1) és a szemlencse (f_2) gyűjtőtávolságának hányadosa. $N_s = \frac{f_1}{f_2}$



Kepler-féle távcső képalkotása

Az L_1 objektív (tárgylencse) a végtelenben fekvő y tárgyról valódi (ernyőn felfogható), fordított állású, kicsinyített y' képet állít elő az F' képpoldali gyűjtőpontjában.

Ezt az úgynevezett y' köztes képet a lupe (nagyító) szerepét betöltő L_2 okuláron keresztül felnagyítva, mint virtuális y'' képet nézzük alkalmazkodott szem esetében a végtelenbe vetítve.

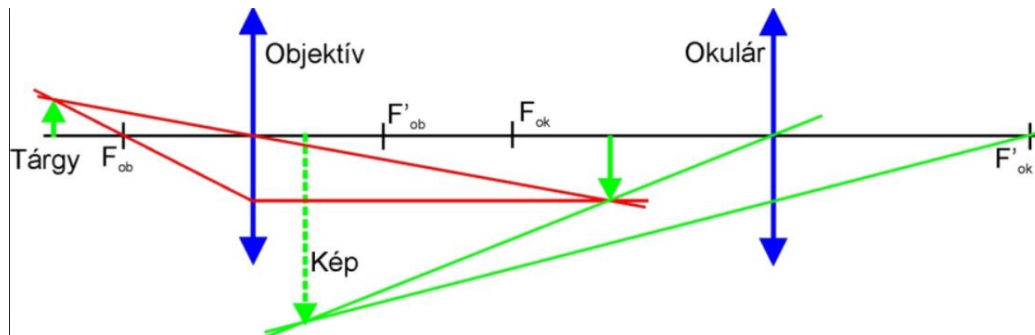


Newton távcsőve

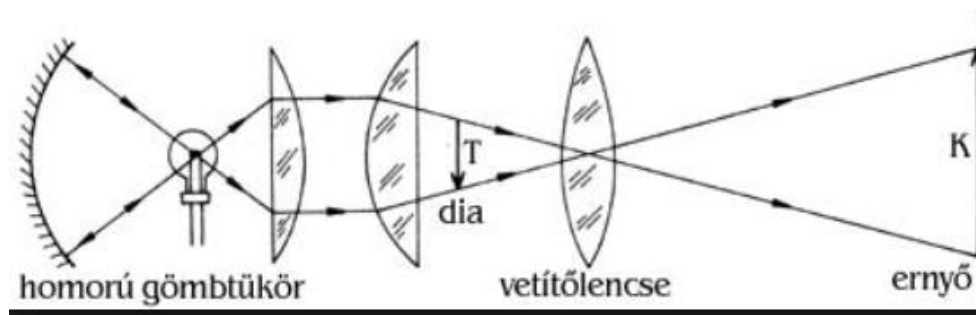
Ennek a távcsőnek az parabola alakú tükre az égi tárgyat valamilyen, a cső belsejében lévő pontba képezi le. Mielőtt azonban a fénysugarak egy pontban egyesülnének, a cső

tengelyében elhelyezett kicsiny tükör a csövön kívüli pontba tükrözi őket és ott észlelhető a kép.

Newton tévedése abból a helytelen felfogásból származott, hogy a különböző átlátszó anyagok egyformán törnek az egyes színeket. Csak halála után jöttek rá, hogy ez a feltevés nem helyes, és a valóságban lehet színhibától mentes lencsét készíteni különböző üvegekből készült összetett lencsével. Azonban a tükrös távcső kifejlesztése mindenképpen fontos eredmény. Jelenleg is a legnagyobb csillagászati távcsövek tükrösek.



A mikroszkóp képképzése



A vetítő képképzése

Lavoisier (1743. Párizs -1794. Párizs)

Antoine-Laurent de Lavoisier 1743-ban született Párizsban egy jómódú francia nemes családban. Apja ügyész volt, nemesi rangját polgári érdemeiért nyerte. Lavoisier anyja egy ügyvéd lánya volt, akinek nagyszülei igen gazdagok voltak. Ötéves korában meghalt édesanyja. Apja ekkor két gyermekével anyósához költözött, ahol a gyermekek nevelésével a nagymama és a nagynéni – az elhunyt édesanya húga – foglalkozott. 15 éves korában húga szintén meghalt.

Lavoisier már fiatal éveiben érdeklődött a természettudományok iránt. 1754-től a Collège Mazarin elit egyetemét látogatta, ahol apja kívánságára előbb jogot hallgatott. Itt egyik tanára fedezte fel természettudományos tehetségét és ettől kezdve természettudományokat is hallgatott. Kis kutatólaboratóriumot rendezett be és kísérletezni kezdett. 22 évesen hozta nyilvánosságra első munkáját, melyben a gipsszel foglalkozott. 1766-ban aranyérmert kapott Párizs közvilágításának fejlesztéséért. 25 évesen a Francia Természettudományi Akadémia tagjává választották.

1771-ben feleségül vette a csupán 14 éves, gazdag családból származó Marie-Anne Pierette Paulze-ot (1758 Montbrison, Loire, Franciaország – 1836 Párizs), ami lehetővé tette

számára, hogy egy nagy laboratóriumot rendezzen be, ahol felesége is szívesen kísérletezett vele együtt, vezette a labor jegyzőkönyvét és tudományos műveket fordított a számára. Madame Lavoisier készítette férje publikációi számára a kísérleti elrendezések abszolút precíz rajzait is. 1784-ben a Francia Tudományos Akadémia igazgatója lett. Továbbá az állami lőpor-felügyelet vezetője volt, és e minőségében jelentősen meg tudta növelni az előállított lőpor mennyiségét. A francia forradalom alatt Lavoisier részt vett a reformokban; támogatta az egységes metrikus rendszer bevezetését a tömeg és a súly mérésére, valamint képviselő lett. A „Párizsi fal” „vámberlőinek” tagjaként 1793 novemberében 28 kollégájával együtt letartóztatták zsarolás és „adóbehajtás” vádjával, és 1794. május 8-án nyaktilóval kivégezték.

Lavoisier kémiai munkásságának elméleti háttere a fizikában akkora már kialakult és alkalmazott tudományos kutatási módszer volt, melynek fontos eleme a mérés, a mennyiségi viszonyok és a mért adatok között az összefüggések keresése. Munkásságának tanulmányozása során nagyon jól lehet követni a tudományos megismerési folyamatot, melyet fontosnak tartott kutatásai során és eredményeinek leírásában.

Ebben jelentősen különbözött munkássága a többi korabeli vegyész kutatóétól, akik többnyire csak kvalitatív vizsgálatokat végeztek. Pontos tömegméréseket végzett, továbbá mérési eljárásokat dolgozott ki, melyekhez speciális berendezéseket tervezett. Ebben segítségére volt a korszak másik nagy tudósa, Pierre-Simon de Laplace (Beaumont-en-Auge, Normandia, 1749. - Párizs, 1827. március 5.) francia matematikus, csillagász és fizikus. Lavoisier sok korábbi kísérletet ismételt meg, de mérésekkel egybekötve, és nem egyszer azoknak újszerű értelmezést adott.

Lavoisier szeretett, ma úgy mondanánk, hogy demonstrációs előadásokat tartani, elsősorban az akadémián, de máshol is. Ezeknek nem egy alkalommal illusztris közönsége is volt, mint például II. József császár, illetve a francia király, XVI. Lajos. Összesen 61 tudományos írást tett közzé. A legfontosabb, mely munkásságának összefoglalása, és egyben az első kémia tankönyvnek tekinthető: *Traité élémentaire de chimie* (A kémia alapjai), mely 1789-ben jelent meg.

A korszak ismeretei

Sok anyagot, elemet, vegyületet és sokféle eszközt és eljárást ismertek már Lavoisier korában az alkímistáktól, illetve arab (iszlám) tudósok munkái nyomán. Az iszlám kémia területén kidolgozták a víz és az illó olajok desztillálásának módszerét. A tinták és festékek, az üvegyártás és kerámiák, textil- és bőrkikészítés módozatai már a 9. századtól ismertek voltak. Felfedezték az ásványi savakat, a lúgokat és a sókat, ismerték a tömegmegmaradás elvét. Majd később az orvosi kémia kiteljesedése következett a 16. és 17. században. A 18. században az égés magyarázatára a flogisztonelmélet (Az anyagok egy égetetlen részből és flogisztonból állnak. Az égés során flogiszton leadása történik, ami tömegcsökkenéssel jár.), továbbá a hőanyagelmélet volt a jelenségek magyarázó kerete. Johan Baptista van Helmont (Brüsszel, 1579. - Vilvoorde, 1644.) belga orvos munkássága nyomán nyilvánvalóvá vált, hogy nem a levegő az egyetlen gáz. Magát a gáz kifejezést is ő alkotta meg. Az atomelmélet alapján megmagyarázta az oldódás és a halmazállapot-változások folyamatát. Az arisztotelészi anyagfelosztás 4 öselem (föld, víz, tűz, levegő) elmélete nyomán azonban a vizet és a levegőt még eleminek gondolták.

Ismerték a karbonátok izzításakor felszabaduló gázt (szén-dioxid), és rögzített levegőnek nevezték el, mivel vele visszaalakítható karbonáttá a keletkező kalcium-oxid.

Hidrogént Robert Boyle (Írország, Lismore, 1627. – London, 1691.) angol fizikus és kémikus, a modern kémia előfutára, állított elő 1671-ben, és ő írta le azt a vasreszelék és híg savak közti reakciót, amely eredményeképpen hidrogéngáz keletkezett. De valószínűleg

korábban is ismertek hasonló folyamatokat. Henry Cavendish (Nizza, 1731. – London, 1810.) 1766-ban azonosította a hidrogént, mint elemet, melyet éghető levegőnek nevezett el, és sokan azonosnak gondolták a flogisztonnal.

Lavoisier munkássága során több problémával is foglalkozott, melyekre megoldást is talált. Ezek a következők:

- az égés,
- a légzés,
- a levegő és a víz összetétele,
- a sav fogalom tisztázása,
- a termokémia és a szerves kémiai analízis,
- részt vett a kémiai jelrendszer megalkotásában.

A kémiából teljesen száműzte a flogiszton fogalmát. Az égést, mint az oxigénnel való egyesülésként magyarázta, mely forradalmi lépésnek tekinthető a tudományban. Napjainkban pedig elektronátmenetként írjuk le, mintegy kibővítve a fogalmat.

Az égés vizsgálata

Probléma

Az égés során a fémek esetében tömegnövekedést tapasztaltak. Továbbá nyilvánvalóvá vált, hogy a levegőnek is szerepe van az égési folyamatban. De nem tudták, hogy mi.

Kutatási kérdések

Más anyagok elégetése során is tapasztalható a tömegnövekedés?
Honnan származik a tömegnövekedés?

Hipotézisek

Igen, más anyagok égése esetében is kimutatható a tömegnövekedés.
A tömegnövekedés a levegőből származik.

Vizsgálatok

A kén és a foszfor levegőben történő égésének vizsgálata. Az égéstermékek tömegének pontos mérése és összehasonlítása a kiindulásként vett kén és foszfor tömegével.

Zárt térfogatban való égetés.

1774. november 11-én a Márton napi előadás az Akadémián „Az ón égetéséről zárt térben és a fémek súlynövekedésének okairól”.

Tapasztalatok

Az égéstermékek tömege minden esetben nagyobb voltak a kiindulási tömegnél.

A zárt térben való égetésnél a levegő térfogata ~~mintegy~~ egy ötödével csökkent, míg a fém tömege az elhasznált levegő tömegével nőtt.

Ha a levegő egy ötödrésze elhasználódott, akkor nem égett el több fém.

Következtetések

A következtetéseket Lavoisier eredeti szavaival írom le, mely a párizsi Akadémia 1774. évi kötetéből származnak Szabadváry könyvéből idézve.

„Először, hogy adott mennyiségű levegőben csak megszabott mennyiségű ónt lehet elégetni.”

„Másodszor, hogy az elégethető mennyiség nagyobb egy nagy edényben, mint egy kicsiben, anélkül, hogy bizonyítani lehetne pontosan, hogy az elégetett fém mennyisége szigorúan arányos az edény térfogatával.”

„Harmadszor, hogy a hermetikusan elzárt retorták, amelyeket az ónnal együtt égetés előtt és után mértünk, nem mutatnak súlykülönbséget, ami nyilvánvalóvá teszi, hogy a fém súlynövekedése sem tűzanyagtól, sem másféle külső anyagtól nem származhatott.”

„Negyedszer, hogy az ón égetésekor a fém súlynövekedése pontosan egyenlő az abszorbeált levegővel, ami bizonyítja, hogy a levegőnek fémmel egyesülő része majdnem teljesen megegyező sűrűségű az atmoszférikus levegővel.”

Majd még hozzáteszi, hogy „...a levegőnek a fémmel egyesülő része nehezebb, az égetés után visszamaradó viszont könnyebb az atmoszférikus levegőnél.”

„Látható tehát, hogy a levegő egy része képes arra, hogy fémekekkel egyesülve meszeket képezzen (fémoxidok), míg a levegő másik része nem ezt teszi.”

Új hipotézis

„Ez a körülmény annak gyanítására vezet, hogy az atmoszférikus levegő nem egységes, hanem hogy két különböző anyagból áll.”

Ha a higanyt levegőben zárt térben elégetjük, majd a megmaradt gázhoz hozzáadjuk a keletkezett higanyoxid hevítésével felszabaduló oxigént, *akkor* visszkapjuk a közönséges levegőt.

Vizsgálat

Zárt térfogatban higanyt égetett el.

Tapasztalat

A levegő térfogata egyötödével csökkent.

Ellenőrző vizsgálat

A keletkezett higanyoxidot hevítette, melyből így felszabadította a megkötött levegőt, vagyis az oxigént. Majd azt újra egyesítette az előző kísérletből visszamaradt levegővel, vagyis a nitrogénnel.

Tapasztalat

A keletkező elegy térfogata és minősége teljesen azonosnak bizonyult a közönséges levegővel.

Következtetés

A hipotézis beigazolódott. Sőt a két gáz mennyiségi arányát is meg tudta állapítani.

A szén-dioxid „felfedezése”

Korábbi tapasztalatok

Karbonátok izzításánál gáz szabadult fel, melyet fel lehetett fogni. Ez a gáz azonban különbözött a levegőtől, mivel azt a karbonátokban rögzíteni lehet. Ezért nevezték el *rögzített levegőnek*.

Kutatási kérdés

Milyen anyag a rögzített levegő? Miből áll? Mennyiben különbözik az atmoszférikus levegőtől?

Hipotézis

Ha a fémmez (fémoxid) és szén hevítése során rögzített levegő keletkezik, akkor az a szénnek a különösen tiszta levegővel (oxigénnel) való vegyülete (szén-dioxid).

Vizsgálat

A vizsgálatok leírásai az 1775. évi akadémiai emlékiratokban vannak.

Az úgynevezett fémmezekből (fémoxidok) a fémet szénrel lehet redukálni. Ekkor a szén esetleg teljesen el is tűnik és keletkezik fém és a gáz halmazállapotú *rögzített levegő*.

DE ismert olyan fémmez, pl. a higanyoxid, mely a puszta hevítésre is fémmé alakul, és ekkor egy *különösen tiszta levegő* (oxigén), keletkezik.

Tapasztalat

Fémmez szénrel történő reakciója során rögzített levegő keletkezik és a fém.

Hevítéskor különösen tiszta levegő keletkezik.

Következtetés

A rögzített levegő tehát nem lehet más, mint a szén és a különösen tiszta levegő vegyülete.

A légzés vizsgálata

Probléma

Priestley megfigyelte, hogy a légzés mintegy „*elrontja*” a levegőt. Erre abból következtetett, hogy egy zárt harang alá tett egér bizonyos idő múlva megfullad.

Kutatási kérdés

A légzés hasonlít az égéshez? Csak sokkal lassabb folyamat?

Hipotézis

A légzés és a fémmez (fémoxid) szénrel való redukciója során ugyanaz a gáz keletkezik. A légzést a tiszta levegő táplálja.

Kísérlet

Lavoisier verebet helyezett adott térfogatú levegőbe, és megvárta, míg elpusztul. Ez után a gázt meszes vízbe vezette.

Tapasztalat

A levegő térfogata nem csökkent, de minősége mégsem volt azonos a közönséges levegővel. Az égést és a légzést nem táplálta, ellenben a meszes vizet zavarossá tette, ugyanúgy, mint a rögzített levegő. Amikor a teljes rögzített levegőt mésszel megkötötte, a gáz térfogata egyötöd résszel csökkent.

Következtetés

A lélegezhető levegő (oxigén) tehát a tüdőben rögzített levegővé (szén-dioxid) alakul.

A kaloriméter

A hőről abban az időben kétféle elképzelés volt.

Az *egyik* szerint a hő az egész természetben elosztott fluidum, mely attól függően, hogy mennyi található a testben, megszabja annak hőmérsékletét. Ezt vallotta Lavoisier.

A *másik* szerint a hő a testeket alkotó atomok mozgásából ered. Ezt vallotta Laplace.

Azonban a hőről alkotott eltérő elképzeléseik nem zavarták őket a közös munkában, melyeket alább ismertetek.

Kutatási kérdés

Miért van az élőlényeknek viszonylag állandó testhőmérséklete? Milyen folyamat biztosítja ezt? Hogyan lehet mérni a hőt? Miként lehet azt számszerűsíteni?

Hipotézis

Minden bizonnyal a hő a légzés folyamata során keletkezik, a legtisztább levegőnek rögzített levegővé válása során.

Kísérlet

A vizsgálathoz megszerkesztették az úgynevezett jégkalorimétert, mely a kaloriméterek őse. Egy adott folyamatban keletkező hő mennyiségét a közben megolvadt jég mennyiségével (tömegével) jellemezték.

Az új eszközzel később sok anyag fajhőjét és számos anyag égéshőjét mérték meg. Most nézzük az élettani vizsgálatot! A mérés két részből állt.

1. Megmérték, hogy adott idő (10 óra) alatt egy tengerimalac mennyi szén-dioxid lélegez ki.
2. Ezt követően kaloriméterbe helyezték a malacot, és megmérték, hogy a jelenléte miatt mennyi jég olvad meg.

Tapasztalat

Amikor a malacot kivették a kaloriméterből, közel azonos hőmérsékletű volt, mint amikor betették.

Következtetés

Tehát a malacban végbemenő életfolyamatok állandóan pótolják a hideg környezetnek leadott hőt. Lavoisier szavaival:

„Az állati hő fenntartásának fő oka tehát az a hő, amely a légzés folyamán keletkezik a legtisztább levegőnek rögzített levegővé való átváltozása folyamán. A légzés tehát egy égés, igaz rendkívül lassú égés, de egyébként teljesen hasonló a szén elégéséhez.... Az állati hő megmaradása tehát döntő részben annak köszönhető, hogy az állat által belélegzett legtisztább levegő vegyülésbe lép a rögzített levegő másik alkotórészeivel, amelyet a vér szállít oda.....”

Érdekességképp vegyük észre, hogy Lavoisier a hőről ténylegesen, mint fluidumról beszél. Továbbá keveri a hő és a hőmérséklet fogalmakat. Nem az állati hő marad meg, hanem az állat hőmérséklete marad állandó. E két fogalom különválása is azokban az időkben történt meg.

A víz összetétele

Probléma

Volt egy anyag, egy gáz, melynek égését sokáig nem tudták megmagyarázni, mely a hidrogén. Többen azt tartották róla, hogy maga a flogiszton. Nem találták meg az

égésterméket, mely meg is felelt az elképzelésnek, hiszen ha maga az égés princípuma, akkor nem is lehet az égésnek égésterméke. Cavendish, Priestley és Scheele is többször vizsgálták az égését.

Joseph *Priestley* (Birstall, 1733. - Northumberland, Pennsylvania, 1804.) angol lelkész, liberális politikai filozófus, fizikus és kémikus. Carl Wilhelm *Scheele* (Stralsund, 1742. – Köping, 1786.) német származású, svéd kémikus. Elsőnek állította elő az általa tűzlevegőnek nevezett oxigént 1772-ben.

Priestley szavaival a kutatási kérdés a következő volt: miként hat a deflogisztizált levegő (oxigén) az éghető levegőre (hidrogén)? Meg is állapította, hogy a térfogatuk csökken. Néha robbanást is tapasztalt. Sőt a leghevesebbet akkor, ha 2 : 1 arányban elegyítette azokat (durranógáz). Scheele is erre a tapasztalatra jutott, melyet úgy magyarázott, hogy hőanyaggá egyesülnek és az edény pólusain keresztül távoznak.

Azért nem vették észre a vizet, mert a gázokat víz felett fogták fel. Továbbá óriási a térfogatváltozás a lecsapódás következtében. Gondoljunk bele, hogy pl. 1 mól (ideális) gáz térfogata 24 dm^3 , míg 1 mól folyékony víz 18 g, melynek térfogata 18 cm^3 . Tehát ezerszeres a térfogatcsökkenés!

Kutatási kérdés

Mi a hidrogén? Mi lehet a hidrogén égésterméke?

Hipotézis

Mivel nemfémes anyag, ezért Lavoisier azt gondolta, hogy égésekor sav jellegű vegyület keletkezik, mint a többi nemfém esetében, azokkal analóg módon. Ő maga azt állapította meg, hogy a savak tartalmazzak oxigént, mely név savképzőt jelent. Ezt a nevet Lavoisier adta. Azt gondolta, hogy az oxigénnek minden savban jelen kell lennie. (Ezért is volt sokáig problematikus a sósav összetételének megállapítása.) Tehát az égésterméket a savak közt kereste. És nem találta, melynek oka a savakról alkotott *saját hibás elmélete* volt.

Új hipotézis

Ha hidrogént és oxigént reagáltatunk, akkor az égéstermék víz. Tehát módosítani kell az addigi gyakorlatot, miszerint az égésterméket víz felett fogják fel.

Kísérlet

Lavoisier higany felett fogta fel az égésterméket.

Tapasztalat

Így tudta észrevenni, hogy az égéstermék a víz. Továbbá a keletkező víz tömege pontosan annyi volt, mint a reagáló gázok tömege.

Következtetés

A víz nem elem, hanem vegyület! A hidrogén és az oxigén vegyülete.

Ellenőrző kísérlet

Ha a víz az oxigén és a hidrogén vegyülete, akkor szét is kell tudni bontani ezekre az összetevőkre.

Az elektrolízist akkor még nem ismerték, hiszen a Volta elem feltalálására még 16 évet kellett várni. Lavoisier izzó vascsövön vezetett vizet, majd egy hűtőn keresztül ki. A cső végén hidrogént tudott kimutatni. Az oxigén pedig reakcióba lépett a vassal.

A víz összetett voltának felfedezése óriási jelentőségű volt. És ebben nem csak az az érdekes, hogy így az arisztotelészi négy őselem elképzelés téves volta nyilvánvaló lett. De érdekes a felfedezés folyamata is. Hiszen többen is elvégezték ugyanazokat a vizsgálatokat, elvileg ugyanazt tapasztalták, de erre mégsem jöttek rá. Tehát a kísérletek alapján nem egyszerű dolog a helyes következtetések levonása! Fontos a jó kérdés feltétele, melyhez megfelelő elméleti keretre van szükség. És erre Lavoisier sem talált rá azonnal.

Watt (1736. Greenock – 1819. Handsworth)

James Watt 1736. január 19-én született a skóciai **Greenock**ban. Apja jómódú, hajótulajdonos és vállalkozó volt, édesanyja előkelő családból származott és jó nevelést kapott. Watt nem járt rendszeresen iskolába, hanem édesanyja tanította. Amikor 17 éves korában édesanyja elhunyt Watt **London**ba utazott, ahol egy évig mérőműszerek készítését tanulta, majd visszatért Skóciába, és **Glasgow**ban műszergyártó vállalkozásba kezdett. A Glasgow-i Egyetem (University of Glasgow) professzorai engedélyezték, hogy kis műhelyt nyisson az egyetem területén. Az egyik professzor, a fizikával és kémiával foglalkozó Joseph Black, Watt jó barátja és támogatója lett.

Watt négy évvel műhelye megnyitása után barátja, Robinson professzor tanácsára a gőzzel kezdett kísérletezni. Másoktól függetlenül rájött a halmazállapot-változásokkal járó energiaváltozások jelentőségére a gőzgépek működésével kapcsolatban. 1763-ban megtudta, hogy az egyetemnek van egy Newcomen-féle, Thomas Newcomen (1664. Darthmouth – 1729. London) gőzgépe, mely épp hogy csak működött. Hosszas kísérletezés után Watt megállapította, hogy a gőz hőjének mintegy 80%-a a henger felfűtésére fordítódik, mivel ebben a gőzgépben a hengerbe hideg vizet fecskendezve kondenzálták le a gőzt. Javasolta, hogy a gőzt ne a hengerben, hanem egy külön kamrában csapassák le, és akkor a henger nem hűl le a beáramló gőz hőmérséklete alá.

Felismerését követően nagy munka árán sikerült egy ipari méretű gőzgépet elkészítenie. Boultonnal, Matthew Boulton (1728. Birmingham – 1809. Birmingham), rendkívül sikeres együttműködést alakítottak ki, akivel a következő huszonöt évben együtt dolgoztak. Watt alkalmazott néhány kiváló vasmunkást és 1776-ban üzembe helyezték az első ipari gőzgépeket. Rendkívül sok megrendelést kaptak, és a következő években sok gőzgépet készítettek elsősorban a cornwalli szénbányák számára a bányavíz szivattyúzásához.

Boulton ösztönzésére Watt forgó mozgásra képes gőzgépet kezdett készíteni. A következő években egy sor újítást vezetett be a gőzgépen. 1794-ben megalapították a Boulton és Watt Vállalatot kizárólag gőzgépek gyártására, mely fokozatosan nagyvállalkozássá nőtte ki magát. 1826-ig összesen 1164 gőzgépet készítettek el mintegy 26 000 lóerő teljesítménnyel.

James Watt 1800-ban vonult nyugdíjba. Ekkor földbirtokot vásárolt Walesben. 1819. augusztus 19-én, 83 éves korában halt meg a **handsworthi** Heathfield Hall nevű házában.

Gőzgép és alkalmazásai

A korszak fontos problémája volt az, hogy a bányákból miként szivattyúzzák ki a vizet. Erre a korabeli Angliában gőzgépeket alkalmaztak. Watt születésekor Thomas Newcomen gőzgépei már Anglia-szerte üzemeltek.

Newcomen gőzgépében a hengerbe gőzt vezettek, a szivattyú rúdja és dugattyúja a saját súlyánál fogva felfelé mozdította el a gőzgép dugattyúját. A felső holtpontonál elzárták a gőz útját és kinyitottak egy csapot, melyen keresztül vizet porlasztottak a hengerbe. A hideg víz lecsapta a vízgőzt, közel vákuum keletkezett a hengerben, és a dugattyú másik oldalára ható légnyomás megemelte a szivattyú dugattyúját: vizet szivattyúzott a bányából a felszínre.

Probléma: a gőzgépek hatásfoka nagyon alacsony volt. A vízbefecskendezéssel nemcsak a gőz hűlt le, hanem maga a munkahenger is, melyet így újból melegíteni kellett a következő ciklusban.

Kutatási kérdés: Miként lehet a gőzgép hatásfokát megnövelni?

Watt találmánya egy új, fontos részegység beiktatása, a gőz lecsapását egy külső, a munkahengertől független tartályban végezte, és ezzel többszörösére növelte a gép hatásfokát.

A gőzgépek azóta is részei mai modern világunknak. A hatásfok sokat javult, de mint az a későbbi tudományos igényű kutatásokból kiderült, annak elvi határa van. A teljesítmény SI mértékegységét nevezték el Wattról.

Ohm (1789. Erlangen - 1854. München)

Georg Simon Ohm 1789. március 16-án született **Erlangerben**. Eleinte erlangeni otthonában tanult autodidakta apjától, később ugyanitt járt gimnáziumba, majd 16 éves korában felvették a helyi egyetemre, ahol matematikát, fizikát és filozófiát tanult. 1811-ben doktorált matematikából. Ezután évekig középiskolában tanított. A róla elnevezett törvényhez vezető alapvető kísérleteit **Kölnben** végezte a gimnázium laboratóriumában 1825-ben, melyről 1826-ban adott hírt *Az áramkör, matematikailag vizsgálva*, címmel.

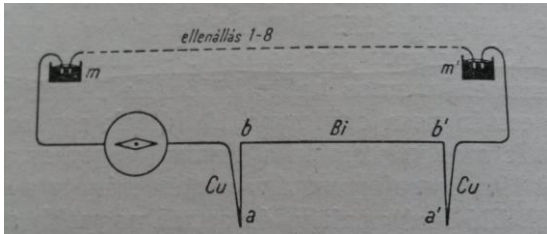
Eredményeit kortársai nehezen ismerték el, csak 1833-ban került a **nürnbergi** politechnikai főiskola fizikai katedrájára, ahol tizenhat éven át tanított. A külföld felfigyelt fel először a fizikusra. Az angol Royal Society tüntette ki 1841-ben a Copley-éremmel, majd külső tagjául választotta. 1849-től a **müncheni** egyetemen tanított, ahol 1852-ben nevezték ki professzornak. 1854. július 6-án Münchenben halt meg.

Nevét egyrészt az elektromosságtan róla elnevezett alaptörvénye örökítette meg. Továbbá az ellenállás SI mértékegysége is őrzi nevét.

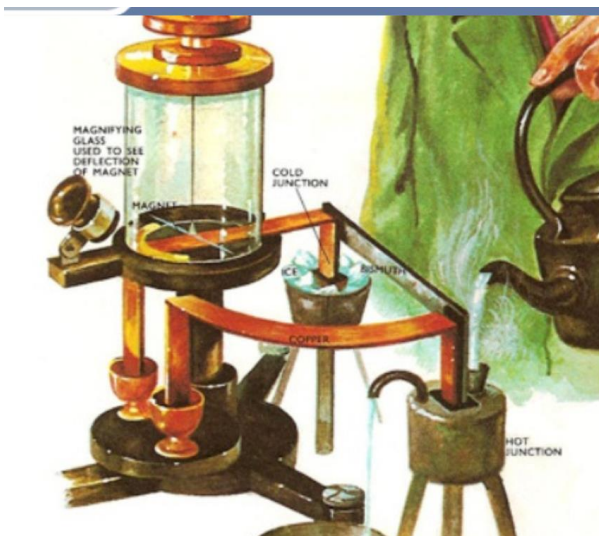
Probléma: A korszakban már sok és sokféle elektromos jelenséget ismertek. De nem voltak rendes mérési eljárások, ezekhez mérőeszközök, sőt, a jelenségek leírásához megfelelő fogalmak sem. Így nem tudtak az elektromos áramkörökre tényleges méréseken alapuló, mérésekkel alátámasztott, mennyiségi összefüggéseket, áramkörökre vonatkozó törvényeket felállítani. Nem váltak még el rendesen az elektromos áramerősség és az áramforrás feszültsége fogalmak sem.

Kutatási kérdések: Milyen összefüggés van az áramforrás feszültsége és az áramkörben mérhető áramerősség között? Hogyan lehet az áramerősséget mérni? Hogyan, milyen mennyiségekkel jellemezhető az áramkörben lévő vezető drót áramvezetés szempontjából? Milyen összefüggés lehet az áramkörben lévő vezető drót anyaga, annak hossza és keresztmetszete között áramvezetés szempontjából? Milyen fizikai mennyiséget lehetne erre bevezetni?

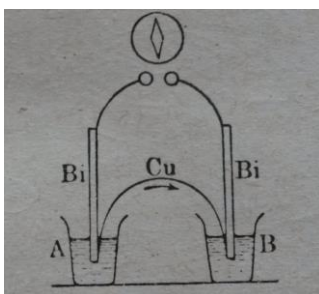
Ohm rendkívül precíz mérőeszközt alkotott, mellyel képes volt nagyon pontos mérésekre. Kísérleti berendezésének lényege a következő volt: áramforrásként termoelemet használt, mivel ez állandó feszültséget tud adni. Erre azért volt szüksége, mivel a kicsit régebben, 1800-ban, feltalált Volta elem által adott feszültség ingadozott a terhelés hatására. Míg a termoelem feszültsége csak a hőmérsékletkülönbségtől függ. Ezt Ohm állandónak tudta tartani a mérések alatt. Az egyik Cu-Bi csatlakozást olvadó jégben, azaz 0 °C-on tartotta, a másikat pedig forrásban lévő vízben, vagyis 100 °C-on tartotta.



A mérési elrendezés vázlatrajza



Ohm mérési elrendezésének megjelenítése



Az Ohm által 1825-ben alkalmazott termoelem, melyet 1821-ben fedezett fel Seebeck.

Az áramerősség méréséhez szintén egy, az adott korszakban új tudományos eredményt használta fel, nevezetesen az 1820-ban Oersted által felfedezett mágneses hatást. Egy iránytű elfordulásának mértékét vette az áramerősséggel arányosnak. Az iránytűt egy torziós szál végére tette, mellyel nagyon finom elfordulásokat tudott mérni. A torziós mérleg skáláját kicsiny mikroszkóppal nézte.

Áramkörébe különböző ellenállásokat helyezett, és ismerve az elem elektromotoros erejét, az áramerősséget mágnesű kilengésével mérte, egy általa épített berendezésben.

Mérési eredményeit a következő összefüggésben foglalta össze: $X = \frac{a}{b+x}$,

ahol X gyakorlatilag az áramerősséget jelölte, x a vezetődrót hossza, a változtatott ellenállás volt, a a termoelem elektromotoros ereje, b pedig az áramkör többi részének ellenállása. Ha a és b értékét Ohm behelyettesítette a különböző mérési sorozatokba, a számított és a mért értékek nagyon jó egyezést mutattak.

Kísérleteihez 2 mm vastag rézdrótot használt, melyek hossza 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66 és 130 hüvelyk (5,4-350 cm) voltak. Ohm ezekre számokkal hivatkozott cikkében 1- 8- ig. Az alábbi ábrán öt *méréssorozat* adatai láthatók. ⁴

Zeit der Beobach- tung.	Ver- suchsrei- hen.	L e i t e r.							
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
8. Jan.	I.	326 $\frac{3}{4}$	300 $\frac{3}{4}$	277 $\frac{3}{4}$	238 $\frac{1}{4}$	190 $\frac{3}{4}$	134 $\frac{1}{2}$	83 $\frac{1}{4}$	48 $\frac{1}{2}$
11. Jan.	II.	311 $\frac{1}{4}$	287	267	230 $\frac{1}{4}$	183 $\frac{1}{2}$	129 $\frac{3}{4}$	80	46
	III.	307	284	263 $\frac{3}{4}$	226 $\frac{1}{4}$	181	128 $\frac{3}{4}$	79	44 $\frac{1}{2}$
15. Jan.	IV.	305 $\frac{1}{4}$	281 $\frac{1}{2}$	259	224	178 $\frac{1}{2}$	124 $\frac{3}{4}$	79	44 $\frac{1}{2}$
	V.	305	282	258 $\frac{1}{4}$	223 $\frac{1}{2}$	178	124 $\frac{3}{4}$	78	44

Az alábbi ábrán pedig Ohm fenti összefüggésének segítségével számított eredményei láthatók. A b értékét 20,25 nak, a értékei pedig rendre 7285, 6965, 6885, 6800 és 6800 voltak. ⁵

Ver- suchsrei- hen.	L e i t e r.							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
I.	328	300 $\frac{1}{2}$	277 $\frac{1}{2}$	240 $\frac{3}{4}$	190 $\frac{1}{2}$	134 $\frac{1}{2}$	84 $\frac{1}{4}$	48 $\frac{1}{2}$
II.	313	287 $\frac{1}{4}$	265 $\frac{1}{3}$	230 $\frac{1}{4}$	182	128 $\frac{1}{3}$	80 $\frac{3}{4}$	46 $\frac{1}{4}$
III.	309 $\frac{1}{2}$	284	262 $\frac{1}{3}$	228	180	127	79 $\frac{3}{4}$	45 $\frac{3}{4}$
IV.	305 $\frac{1}{2}$	280 $\frac{1}{2}$	259	224 $\frac{3}{4}$	177 $\frac{3}{4}$	125 $\frac{1}{4}$	79	45
V.	305 $\frac{1}{2}$	280 $\frac{1}{2}$	259	224 $\frac{3}{4}$	177 $\frac{3}{4}$	125 $\frac{1}{4}$	79	45

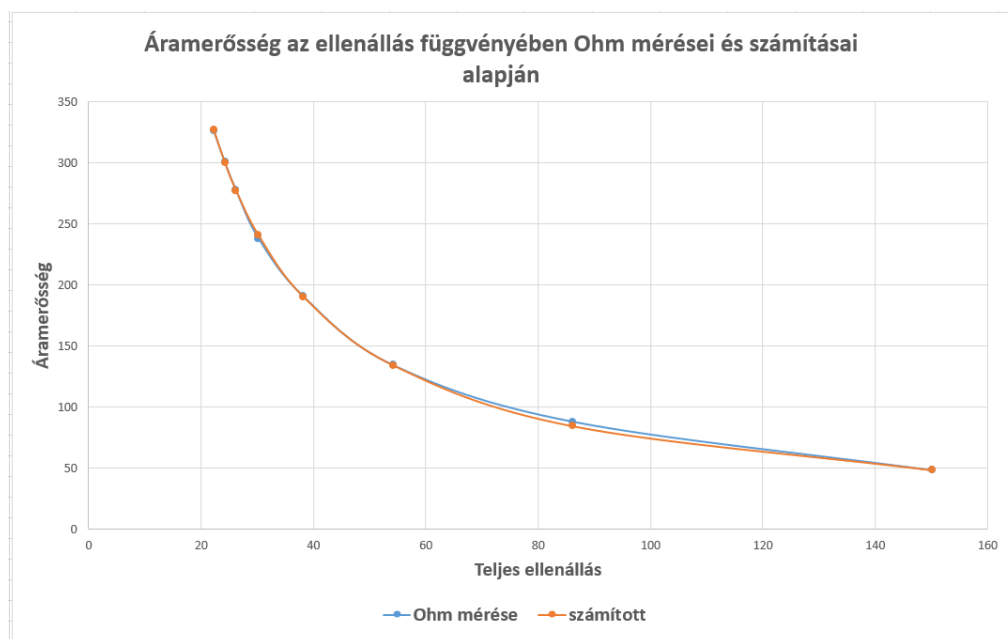
- Vizsgáljuk meg, hogy mennyire voltak pontosak Ohm mérései saját számításai szerint!

Ábrázoljuk valamelyik összetartozó mérési és számítási adatsorpárt egyazon ábrában! Legyenek mindkét sorozatból az elsős sor adatai!

⁴ Szegedi Péter (2013): Fizikatörténeti szöveggyűjtemény 244. oldal

⁵ Szegedi Péter (2013): Fizikatörténeti szöveggyűjtemény 245. oldal

20,25+x								
teljes ellenállás	22,25	24,25	26,25	30,25	38,25	54,25	86,25	150,25
Ohm mérése	326,75	300,75	277,75	238,25	190,75	134,5	88,25	48,5
számított	328,00	300,50	277,50	240,75	190,50	134,50	84,50	48,50



Mint az ábrából látható, alig van különbség a *mért és a számított* értékek közt!

Ohm nemcsak egyszerűen a feszültség, az áramerősség és az ellenállás viszonyát határozta meg, hanem az áramkörbe iktatott ellenállásoknak, melyek különböző fémhuzalok voltak, a vezető hosszától, keresztmetszetétől és anyagától való függését is. Ő vezette be a vezető anyagi minőségére jellemző fajlagos vezetőképesség fogalmát. A különböző anyagok között ellenállási sorrendet állapított meg, mennyiségi viszonyokat fogalmazott meg.

Kísérleti eredményeit elméleti megfontolásokkal is alátámasztotta. *Számított és mért* eredményei nagyon jó egyezést mutattak.⁶

Egy-egy precíz mérés több órát vett igénybe. A mérések közt is legalább egy óra szünetet tartott, míg beállította megfelelő zavarásmentes körülményeket.

Vegyük észre, hogy Ohm középiskolai tanár létére mennyire ismerte korának legújabb felfedezéseit, melyeket fel is használt munkája során!

1827-ben jelent meg *A galvanikus lánc* című könyve, melyben több, később mások által részletesen tanulmányozott és felfedezett törvényre vonatkozó elgondolások is találhatóak.

A hő terjedésre és az elektromos áramra vonatkozó törvények hasonlósága alapján arra következtetett, hogy a hőjelenségek és az elektromosság között valamilyen belső kapcsolatnak kell lennie, melyet később Joule vizsgált meg részletesen.

⁶ Ohm eredeti német nyelvű cikke: http://www2.ohm-hochschule.de/bib/textarchiv/Ohm.Bestimmung_des_Gesetzes.pdf

Könyvében olvashatók az áramelágazásokra vonatkozó, később Kirchhoff-törvényeknek, Gustav Robert Kirchhoff (1824. Königsberg- 1887. Berlin), nevezett összefüggések.

Megállapította, hogy az elektrolízisnél az áramnak a vegyületeket „felbontó hatása” arányos az áramerősséggel, mely témával később Faraday foglalkozott és állapított meg mennyiségi törvényeket.

Eredményes kutatómunkát végzett a hangtan és az optika területén is.

Joule (1818. Salford – 1889. Sale)

James Prescott Joule egy **Manchester** melletti kis helység, **Salford** sörgyárosának volt a fia. Gyenge testalkata miatt 15 éves koráig otthon nevelkedett, majd magántanártól tanult. A fizikát, a kémiát és a matematikát John Daltontól (Eaglesfield, 1766. – Manchester, 1844.) tanulta, akinek a nevéhez a modern atomelméletet kapcsoljuk. Joule szerint Dalton kulcsszerepet játszott abban, hogy tudóssá vált: „Az ő tanításának köszönhetem, hogy úgy döntöttem, többet akarok saját kutatásaim, kísérleteim által tanulni.”

Nagyon sok kísérletet végzett, amelyekhez a legtöbb esetben saját maga alkotta meg a szükséges eszközöket. A problémát több felől is megközelítette, és a mérésekről mindig pontos beszámolókat adott. Cikkei végén pedig világosan összefoglalta az eredményeket.

1840-ben fedezte fel, hogy a testeket csak egy meghatározott mértékig lehet mágnesezni. Ebben az évben állapította meg azt is, hogy a vezetékben az elektromos áram által termelt hő arányos a vezeték ellenállásának és az áramerősség négyzetének szorzatával, amit azóta Joule törvényeként ismerünk. Sok más, a hő és az energia különböző formái közötti kapcsolatról szóló beszámolóik között ez volt az első, amelyről cikke a Royal Society (Királyi Tudományos Társaság) lapjában jelent meg.

1842-től 1878-ig azt vizsgálta, hogy lehetséges-e mechanikai munkát közvetlenül hővé alakítani bármilyen elektromos lépés nélkül. 1850-ben bemutatott híres „lapátkerék” kísérletével alapozta meg a hő és a mechanikai munka közötti azonosság elméletét.

Megállapította továbbá a gázok hirtelen kitágulásakor fellépő lehűlést (Joule-Thomson effektus), (Lord Kelvin, szül.: William Thomson, 1824. Belfast – 1907. Netherhall) amit a hűtőrendszereknél azóta is használnak. Joule ismerte fel azt is, hogy a gáznak az edény falára gyakorolt nyomása a részecskék fallal történő ütközéséből származik.

Tudományos tevékenységének elismeréseként tagjai közé választotta az Angol Királyi Társaság.

1875-ben elszegényedett, és az azt követő években folyamatosan betegeskedett egészen 1889. október 11-én **Sale**-ben (Cheshire megye, Anglia) bekövetkezett haláláig.

Tiszteletére az energia, a munka és a hő nemzetközi mértékegysége azonos lett, a joule, mely róla kapta nevét.

Probléma: Az elektromos, a mechanikai munka és a hő kapcsolata. Ismert volt néhány olyan jelenség, mely a kapcsolatra utalt, mint például Rumford (Rumford, Benjamin Thompson, Rumford (É.-Amerika) 1753 - Auteuil (Páris mellett) 1814) ágyúfűrészes kísérlete. Az ágyúcső kifűrészeskor, mely mechanikai munkavégzés, nagyon felmelegszik az ágyúcső. Dalton két jégdarabot dörzsölt össze, melynek eredményeképp azok elkezdtek megolvadni. Akkorra már világossá vált, hogy a halmazállapot-változáshoz is energia szükséges. Az árammal átjárt vezető felmelegszik, esetleg izzásba is jön. Az úgynevezett hógépek már közel egy évszázada működtek. Tehát a kapcsolat megtalálása a korszak egyik fontos tudományos problémája volt.

Kutatási kérdés: Mekkora lehet az az elektromos, illetve mechanikai munka, mely egységnyi hőt szolgáltat?

A mechanikai munkát súlyok adott magasságból való leeséséből számolta, míg a hőt adott mennyiségű víz, majd később higany hőmérsékletének emelkedéséből.⁷⁸

Joule munkássága előkészítette az energiamegmaradás törvényének kimondását, mely alapvető jelentőségű nem csak a fizika, de minden természeti jelenség magyarázatához, értelmezéséhez.

Belső égésű motorok

A belsőégésű motorok olyan hőgépek, amelyeknél egy megfelelően megválasztott periodikus termodinamikai munkafolyamat (körfolyamat) során a tüzelőanyag a hengerben elég és a munkaközegben felszabaduló hő egy része mechanikai munkává alakul. A többi hőgépet ezzel szemben külső égésű motornak kellene nevezni, de ez a kifejezés nem terjedt el. Ezeknél az égéstermékek egy másik közegnek adják át energiájukat (például folyékony víznek, amiből gőz lesz).

Többféle belsőégésű motor van, melyek közül a két leggyakrabban előforduló típust mutatjuk be.

A legismertebb a négyütemű **Otto motor**, melyet a gépkocsikban alkalmaznak. A négy ütem

- a szívás,
- a sűrítés,
- a tágulás. Ebben az ütemben ég el az üzemanyag, melyet egy szikra gyújt be, A kitáguló gáz óriási nyomása a dugattyút fentről lefelé löki. A dugattyú a hajtórúdon keresztül fél fordulattal elfordítja a forgattyús tengelyt, amely fél fordulat gyakorlatilag a motor hasznos munkája.
- és végül a kipufogás.

A **dízelmotor** szerkezetében hasonlít Otto-motor, avagy benzinmotor felépítéséhez, hiszen alapvetően mindkettő henger(ek)ből, dugattyú(k)ból, főtengelyből, kiegyenlítő-tömeg(ek)ből, vezérműből, szelepekből stb. épül fel, s mindkettő a négy ütem – szívás, sűrítés, tágulás és kipufogás – szerint dolgozik, de működésükben és üzemanyagukban eltérnek.

Az egyik különbség, hogy a dízelmotornál a tüzelőanyag (leginkább gázolaj) gyújtószikra segítségével nélkül, az összenyomás miatti felmelegedés hatására öngyulladással ég el és végez munkát a hengerben. Az Otto-motorok benzin+levegő keveréket kapnak a karburátorból, viszont a dízelmotor hengere csak levegőt szív be, azt sűríti, és az adagoló az égéstérben felhevült levegőbe fecskendezi az üzemanyagot.

Ampère (1775. Lyon– 1836. Marseille)

⁷ „A hő és a mechanikai energia közönséges formái közötti egyenérték-reláció létezéséről”
<http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/ho/joule.html>

⁸ <https://www.netfizika.hu/a-ho-es-a-mechanikai-munkavegzes-kapcsolata-joule-lapatkeres-kiserlete>

André-Marie Ampère apja selyemkereskedő volt, aki felismerve fia tehetségét különösen a matematika iránt, nagy gondot fordított taníttatására. Apját azonban a francia forradalom alatt arisztokratának nyilvánították és kivégezték. A 18 éves fiatalemberre, ez az esemény olyannyira bénítólag hatott, hogy egy időre elvesztette érdeklődését minden iránt. Később **Lyonban** magántanítással kezdett foglalkozni, majd 1802-ben Bourg-en-Bresse városban a kerületi központi iskola fizikatanára lett. 1805-ben **Párizsba** hívták az École Polytechnique-ba, ahol a fizika professzora lett. Utolsó éveiben egészsége nagyon megromlott, és tudományos érdeklődése is megcsappant. 1836-ban tüdőbajának gyógyítására **Marseille-be** utazott, ahol meghalt.

A korszak ismeretei: A newtoni fizika, a mechanika, Coulomb törvény, Volta oszlop, vezetők és szigetelők, elektrolízis, mely segítségével több új elemet fedeztek fel, mint nátrium, kálium.

Probléma: Hogyan függnek össze a newtoni mechanika segítségével leírható jelenségek az elektromos és mágneses jelenségekkel? Van-e kapcsolat az elektromos és a mágneses jelenségek között? Oersted (1777 Rudkøbing – 1851. Koppenhága) 1820-as kísérlete az első utalás erre. Ezt levél formában adta közre 1820 július 21-én, hogy „az elektromos konfliktus nincs a vezető drótba bezárva”.⁹ Az áramjárta elektromos vezető mágneses teret hoz létre maga körül, mely iránytűvel, mágnes elfordulása révén, kimutatható. E kísérlet nyomán mintegy lázas kísérletezés indult meg a kutatók körében.

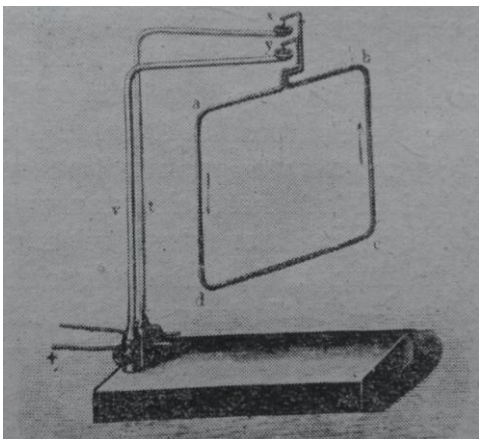
Kutatási kérdés: Ha a vezetőben folyó áram maga körül mágneses mezőt kelt, ami hat a mágnesre, akkor vajon

- az árammal átjárt vezető is elmozdul a mágnes hatására?
- Ampere tovább folytatta a gondolatmenetet, miszerint akkor két árammal átjárt vezető is hat egymásra?

Hipotézis

Az árammal átjárt vezetők is hatnak egymásra, közöttük vonzás, vagy taszítás tapasztalható.

Amper nagyon precíz kísérleti berendezéseket készített elgondolásai vizsgálatára. Ezekkel tüzetesen megvizsgálta az áram és a mágnes, illetve az áramok egymásra gyakorolt hatását.



⁹ Idézi Zeplén - Szabadváry - Kontra 13. oldal

Következtetések:

Két párhuzamos vezető között vonzás lép fel, amennyiben azonos irányú áram folyik bennük. Ha ellentétes irányúak az áramok, akkor pedig taszítás lép fel.

Amper ismerte fel azt is, hogy az áramjárta szolenoid (tekercs) belsejében is mágneses mező van. A vasmagos tekercs, mint elektromágnes, az ő találmányának tekinthető.

A nevét viseli az Ampère-féle balkéz - szabály, amely a vezető árama által keltett mágneses tér irányát határozza meg.

Az elektromos áram és az általa keltett mágneses tér erőssége között fennálló összefüggést nevezik Ampère-féle gerjesztési törvénynek

A molekuláris köráramok létezésének feltételezésével értelmezte az anyag mágneses tulajdonságait.

Az elektrodinamika szót is ő használta először 1820-ban.

Nevét őrzi az áramerősség SI-mértékegysége, az amper.

Faraday (1791. Newington Butts – 1867. Hampton Court)

Michael Faraday egy kovácsmester kisebbik fiaként született. Tizenhárom éves korában beállt egyik rokonukhoz könyvkötőmesterhez inasnak. Itt a munka mellett sokat tanulhatott a kötésre váró könyvekből. Az Angol Királyi Tudományos Társaság volt a műhely fő megrendelő, és elolvashatta a kötésre hozott könyveket. Legjobban az Encyclopaedia Britannica elektromosságról szóló cikkei érdekelték. Az egyik ügyfelétől kapott jeggyel a kor nagy kémikusa, Humphry Davy (1778. Penzance. – 1829..Genf) előadásait hallgathatta. Faraday letisztázott, színes diagramokkal kiegészített jegyzeteit bekötötte és elküldte Davy-nek, akit annyira lenyűgözött tehetsége és szorgalma, hogy asszisztensének fogadta. 1820-ig dolgozott Davy mellett, akit külföldi útjaira is elkísért, és az eközben szerzett ismeretségei tágították látókörét.

Kezdetben gázok cseppfolyósításával kísérletezett, majd 1825-ben felfedezte a benzolt.

1831-ben fedezte fel az elektromágneses indukció törvényeit.

1843-ban kimondta az elektromos töltés megmaradásának elvét.

Faraday feltételezte, hogy az elektromágneses erő kiterjed a vezető körüli üres térbe is. A mágneses térerőt vasreszelékkel tette láthatóvá. Tőle származik azon erővonalas ábrák jelentős része, melyeket az iskolai tankönyvekben láthatunk.

A statikus elektromosságban az elektromos töltések csak az elektromosan töltött vezető külső felületén vannak jelen, és a külső töltés semmilyen hatással sincs a vezető belsejére. Ez azért van, mert az azonos töltések taszítják egymást. Ezen a felismerésen alapul az úgynevezett Faraday-kalitka, az elektromágneses hatás kiküszöbölésére szolgáló, fémhálóval körülvett térrész, melynek a belsejében lévő tárgyak vagy élőlények védve vannak pl. a villámlástól.

1832-ben elektrolízissel foglalkozott; megalkotta az „elektrokémiai egyenértéktömeg” kifejezést, és meghatározta értékét. Ő vezette be az anód, katód, elektróda és ion kifejezéseket. Az elektrolízis törvényét tanulmányozva felismerte, hogy a folyamatban átalakuló anyag mennyisége az átalakításhoz felhasznált elektromos töltés mennyiségével arányos, így összekapcsolta a kémiai atomelméletet az elektromossággal. Vizsgálatainak következő szakaszában feltárta, hogy az elektrolízisben átalakuló anyagok tömegei úgy aránylanak egymáshoz, mint egyenértéktömegeik.

1845-ben a fény és a mágneses tér kölcsönhatásait vizsgálva felfedezte a róla elnevezett effektust.

Nevét őrzi még

- a kapacitás SI egysége, a farad, valamint,
- a Faraday-állandó, ami egy mól elektron töltése (kb. 96 485 coulomb).¹⁰

Problémafelvetés

Az áramnak van mágneses hatása, az áramvezetőt mágneses mező veszi körül, melyet Oersted 1820-as vizsgálataiból lehetett tudni. Vagyis az elektromos mező hatására mozgásba jövő töltések maguk körül mágneses mezőt hoznak létre. Az a gondolat, hogy a mágnességnek elektromos áramot kell létrehoznia, mivel az elektromos áram is létrehoz mágnességet, ebben az időben már a levegőben volt. Faraday megszállottan kutatta a jelenség megfordításának módját.

Kutatási kérdés: Hogyan lehet mágnessel elektromos áramot létrehozni?

Idézetek Faraday Naplójából

1822.

„Alakítsd át a mágnességet villamossággá.”

1831. augusztus 29.

„A B oldalon levő tekercsekből egy tekercset csináltam, végeit pedig összekötöttem rézdróttal, amely közvetlenül egy mágnesű fölött haladt el (3 láb távolságra a vasgyűrűtől). Azután összekötöttem az A oldali egyik tekercs végeit a teleppel; azonnali hatás mutatkozott a tűn. Rezgett, és végül az eredeti helyzetben került nyugalmi állapotba. Mikor megszakítottam az A - oldal kapcsolását a teleppel, ismét jelentkezett a tű ingadozása.”

Vagyis mai szóhasználatunkkal az egyik tekercsen áthaladó elektromos áram egy, a közelben lévő másik tekercsben áramot indukált.

1831. október 17.

„57. Kísérletek 0 - val. A henger egyik végén levő 8 tekercsvégződést megtisztítottam, és nyálábbá kötöttem össze. Ugyanígy a másik 8 végződést is. Ezeket az összekötött végeket aztán hosszú rézdrótok segítségével a galvanométerrel kötöttem össze - azután egy 3/4 hüvelyk átmérőjű és 8 1/2 hüvelyk hosszú henger alakú rúd-mágnes egyik végét bedugtam a henger alakú tekercs végébe - utána gyorsan egész hosszában bedugtam, amire a galvanométer tűje megmozdult, amikor kihúztam a tű ismét megmozdult az ellenkező irányban. Ez a hatás minden alkalommal megismétlődött, ha a mágnes a hengerbe tettem, vagy onnan kivettem, és ennek következtében elektromos hullám keletkezett pusztán a mágnes közelítése miatt, nem pedig attól, hogy ott van a mágnes.

58. A tű nem maradt meg elfordult helyzetében, minden alkalommal visszatért a helyére. A mozgások sorrendje a fordítottja volt az előző kísérleten sorrendjének - a mozgás iránya megfelelt az előző kísérletnek, vagyis a tű igyekezett a gerjesztő mágnessel párhuzamos helyzetbe kerülni, mivel a drótnak és az azonos nevű pólusoknak ugyanazon oldalán volt, ugyanabban az irányban.” (Idézi: Gamov 1965. 152-153. oldalak)

¹⁰ <http://tudosnaptar.kfki.hu/f/a/faraday/faraday.html>

Sok felfedezése, felismerése közül az indukció az, amely felfedezések sorát indította el. A mai életünkhöz elengedhetetlen dinamók, generátorok és transzformátorok működésének alapját jelenti.

Jedlik Ányos (1800. Szimő - 1895. Győr)

Jedlik Ányos szülőhelye ma Szlovákiához tartozik, ahol szeretettel őrzik emlékét. Eredeti neve Jedlik István volt, az Ányos a rendben felvett neve. A magyar mellett folyékonyan beszélt és írt németül és szlovákul is. 1817-ben lépett be a Szent Benedek-rendbe.

Nevéhez fűződik többek között az első villanymotor megalkotása, az öngerjesztés elve, a dinamóelv első leírása, a szódavíz magyarországi gyártása és a feszültségsokszorozás felismerése. Kiemelkedőek voltak az optikai kísérletei is. Kitűnő optikai rácsai ismertté és keresetté váltak. Az ezen neki dolgozó műszerésszel közösen lényegében lerakták a magyar finommechanikai műszergyártás alapjait.

1844-ben hirdették ki azt a törvényt, amely szerint a magyar lett a közoktatás nyelve. 1845-től megkezdődött a magyar nyelvű oktatás az egyetemen. Nagy nehézséget okozott azonban az egységes magyar műszavak hiánya, ezért először a magyar tudományos nyelvet kellett kialakítani, mielőtt a rendelkezést teljes egészében végre lehetett volna hajtani. Jedlik is részt vett a munkában, melynek célja az volt, hogy – különösen a középiskolai oktatás számára – megállapítsák a magyar tudományos műnyelvet, melyhez elkezdte megalkotni a magyar műszaki és természettudományos nyelvhez szükséges szakszavakat. Példaképpen néhány napjainkban is használatos szó, melyeket ő alkotott és amelyek azóta is szerepelnek a magyar nyelvű fizikatankönyvekben: dugattyú, haladvány, merőleges, tehetetlenségi nyomaték, eredő erő, osztógép, dörzsvillanyosság, fénytörés, hangszekrény, hullámhossz, hullámvölgy, kilométer, léggömb, légnyomás, műanyag, szögsebesség stb.

Budapesten, a tudományegyetemen 40 éves korától 78 éves koráig volt a "Természet- és eröműtan" (értsd: fizika és mechanika) tanszék tanára. Rövid ideig tanított Győrben is, és nyugdíjas éveit is itt töltötte. 1848-ban - a forradalom idején! - ő volt a pesti bölcsész kar dékánja, 1863/64-ben az egész egyetem rektora. Ő írta az első magyar nyelvű egyetemi tankönyvet fizikából (Súlyos testek természettana, 1850). Eötvös Loránd neki adta át az 1. sz. tagsági igazolványt az általa alapított Matematikai és Fizikai Társulatban. Ma már Csepelen gimnázium, Győrben szakközépiskola és több városban utca viseli a nevét.

Dinamó, generátor, elektromotor

Probléma: Hogyan lehet az elektromosságot, az elektromos energiát a háztartásokban felhasználni?

Kutatási kérdés: Milyen berendezésekben lehet a mechanikai munkát bárhol felhasználható elektromos energiává alakítani? És hogyan lehet az elektromos energiát visszaalakítani mechanikai munkává?

Az erőművekben váltóáramot célszerű előállítani, mivel ezt lehet jóval kisebb veszteséggel szállítani, amint azt Tesla (1856–1943) megmutatta.

Generátoroknak nevezik azokat a gépeket, amelyek mechanikai energiát alakítanak át elektromos energiává. A különböző generátorok működésének a fizikai alapja az, ha egy vezetőkeret forog homogén mágneses mezőben. A gyakorlatban vasmagos tekercset alkalmaznak, és a kivezetéseket csúszógyűrűkhöz forrasztják. Ezekről kefékkel vezetik le a váltóáramot.

Ha a mágneses mezőt elektromágnessel állítják elő, akkor nagy teljesítmény leadására alkalmas generátort kapnak. Ekkor a mágneses mezőt előállító elektromágnes forog az úgynevezett állórész tekercsei között, amelyekben a változó mágneses mező indukált feszültséget hoz létre.

Ezen a módon a nagyfeszültség levételekor a csúszóérintkezőnél fellépő szikrázás elkerülhető. Ha a gerjesztő tekercspárt többszörözzük, akkor ugyanakkora frekvencia eléréséhez kisebb fordulatszámra van szükség. A váltóáram frekvenciája ekkor: $f = np$, ahol n a fordulatszám, p pedig a póluspárok száma. Magyarországon a hálózati áram frekvenciája 50 Hz. Az állórész és a forgórész azonos számú póluspárt, illetve tekercspárt tartalmaz. Az egymás után következő tekercsek ellentétes csévélésűek, és sorba vannak kapcsolva egymással. Így minden tekercsben azonos előjelű feszültség keletkezik, amelyek összeadódnak.

A másik elrendezés, amely használatos, a **háromfázisú generátor**, amely tulajdonképpen három egyfázisú alkalmas módon egybeépítve. Egy közös forgórész három, egymástól független, 120° -kal elforgatott helyzetű tekercspárban indukál feszültséget. Az indukált feszültségek közt egyharmad periódus a fáziskülönbség.

A háromfázisú generátor többféle módon kapcsolható a hálózatra. Ha a három tekercs egy-egy megfelelő kivezetését összekötjük, és a szabadon maradó másik három kivezetést a fogyasztóhoz vezetjük, akkor az úgynevezett csillagkapcsolást hoztuk létre. A közös ponthoz csatlakozó vezeték a nullvezeték, a többi fázisvezetéknek nevezik. A fázisvezetékek jele R, S és T. A fogyasztónál így kétféle feszültség jelenik meg. A fázisvezeték és a nullvezeték közt lévő fázisfeszültség U_f és két-két fázisfeszültség közt pedig a vonalfeszültség U_v . A vonalfeszültség nagyobb a fázisfeszültségnél, viszonyuk: $U_v = \sqrt{3}U_f$.

Háromszög kapcsolásnál, ha a három tekercset sorba kapcsoljuk, akkor a fázis- és a vonalfeszültségek megegyeznek.

Vannak azonban olyan alkalmazások, amelyekhez egyenáram szükséges, ekkor egyenáramú generátorokat alkalmaznak. Az áramfejlesztés alap gondolata ebben az esetben is az indukció. Ha a homogén mágneses mezőben forgatott tekercs kivezetéseit egyetlen csúszógyűrű két, egymástól elszigetelt szeletéhez forrasztjuk, akkor a mágneses mezőhöz képest álló helyzetben lévő csúszóérintkezőkön, a keféken minden fél periódusban azonos irányú áram folyik. A szeletelt csúszógyűrűt kommutátornak nevezik, és ez végzi a változó feszültség egyenirányítását. A feszültség nem állandó, az általa keltett áram $I_0 \sin \omega t$ függvény szerint változik. Ez lüktető egyenáram. A lüktetés mértéke csökkenthető, ha a mágneses mezőben több, egymáshoz képest azonos szöggel elforgatott tekercset helyezünk a forgórészre, majd ezeket sorba kötjük.

A generátorokban a mágneses mezőt létesítő elektromágnessel eleinte külön egyenáramú áramforrásokkal táplálták. Jedlik Ányosnak jutott először eszébe, hogy a generátor elektromágnesét is maga a generátor táplálja. Ez a **dinamó** elv.

Az **elektromos motorok** hasonló berendezések a generátorokhoz, csak hogy a keféken keresztül áramot vezetve forgás jön létre. Vagyis a motorokban az elektromos energia alakul át mechanikai munkává. Így használható fel többek közt az elektromos energia, különböző gépek mozgatására, hajtására.

Mai mindennapi életünk elképzelhetetlen lenne a lakásokba eljutó elektromos energia nélkül. Érdeemes végig gondolni, hogy milyen elektromos berendezéseket is használunk naponta!

Maxwell (1831. Edinburgh – 1879. Cambridge)

James Clerk Maxwell Edinburgh-ban született skót nemesi családban, néhány hónappal azután, hogy Faraday közzétette felfedezéseit az elektromágneses indukcióról. Az edinburghi, majd a Cambridge-i egyetemen tanult. 1855-től a Cambridge-i egyetemen oktatott. 1856-tól 1860-ig az Aberdeen-i egyetem, 1865-ig az edinburghi egyetem, majd 1865-ig a londoni egyetem professzora volt. Néhány évi visszavonulás után 1871-től a Cambridge-i egyetem professzora volt, ő alapította meg a Cavendish laboratóriumot, és döntő szerepe volt Cavendish tudományos munkássága meg- és elismertetésében.

Maxwell munkássága jelentős mértékben hozzájárult a hő kinetikus elméletének fejlesztéséhez, az optika és a színes látás kutatásához, de legjelentősebb munkája az volt, hogy a matematika nyelvén fogalmazta meg Faraday elgondolásait az elektromágneses mező szerkezetéről. 1873-ban jelent meg élete fő műve a "Treatise on Electricity and Magnetism". Ebben általánosította azokat az empirikus tényeket, hogy a változó mágneses mező elektromos mezőt indukál, valamint hozzátette, hogy a változó elektromos mező és az elektromos áram mágneses mezőt hoz létre. Az általánosítás eredményeképp megalkotta a később róla elnevezett híres egyenleteket. Cambridge-ben halt meg hasüregrákban 48 évesen.

Hertz (1857. Hamburg - 1894. Bonn)

Hertz, Heinrich Rudolf Hamburgban született gazdag polgári családba. Eleinte mérnöki pályára készült, ezért 1875-ben Frankfurtba ment, majd a Drezdai Műszaki Egyetemre került, később pedig a Münchener Műszaki Egyetemen tanult tovább. 1878-ban fordult a természettudományok felé és Berlinbe költözött, ahol 1879-ben pályadíjat nyert egy filozófiai dolgozatával. Doktori dolgozatát is ekkor, mindössze 23 évesen írta, "Elektromágneses indukció forgó testekben" címmel. 1886-ban mutatta ki, hogy az elektromos szikra kisülése közben elektromágneses hullámok keletkeztek.

Legfontosabb eredménye a Maxwell által kidolgozott elektromágneses elmélet kísérleti igazolása és az elektromágneses hullámok létezésének kísérleti vizsgálata (1884). Vizsgálataival kimutatta, hogy az elektromágneses hullámok és a fény terjedési tulajdonságai azonosak (visszaverődés, törés, polarizáció). Ezek a felfedezések tették lehetővé a vezeték nélküli hírközlést (szikratávíró, rádió, tv).

Ő fedezte fel a fényelektromos hatást 1886-ban. Észrevette, hogy az elektromos szikrák könnyebben kiválthatók, ha a szikraközt ultraviola fénnel világítják meg. Ezt később fotoeffektusnak nevezte el, mely kifejezést azóta is használjuk a jelenségre, de soha nem tudta megmagyarázni. Ezt a kutatást munkatársa, Wilhelm Hallwachs (1859. Darmstadt – 1922. Drezda)) folytatta (Hallwachs-hatás, 1887). Ez a felfedezés fontos szerepet játszott a kvantumelmélet kialakulásában (Albert Einstein, 1905). Tiszteletére 1933-ban róla nevezték el a frekvencia mértékegységét (hertz, rövidítve Hz).

A katód sugárzást is elektromágneses hullámnak vélte, mint utóbb kiderült tévesen. 1889-ben Hertz-et a Berlini Tudományos Akadémia levelező tagjává választotta és a Bonni Egyetem fizika professzora lett. Lénárd Fülöp (Pozsony, 1862. jún. 7. – Messelhausen, 1947.

máj. 20.) magyar származású Nobel díjas fizikus 1891 és 1894 között H. Hertz asszisztenseként dolgozott Bonnban.

Az elektromágnesség egységes elmélete

A Maxwell-egyenletek magukban azt a lehetőséget, hogy az elektromágneses mező önállósuljon. A változó elektromos mező változó mágneses mezőt kelt és így tovább, mely leszakadhat a forrásról.

A Maxwell egyenletekből következik, hogy az elektromágneses kölcsönhatás véges sebességgel terjed. Az E elektromos térerősség vektor haladási sebessége éppen c a fénysebesség. Belátható az is, hogy az \mathbf{E} és \mathbf{B} vektorok egyidőben veszik fel 0, illetve maximális értéküket, vagyis azonos fázisban rezegnek. A két vektor minden pillanatban merőlegesek egymásra és mindkettőjükre merőleges a hullám terjedési iránya.

Az elektromágneses mező tömeget, impulzust, energiát hordoz, nyomást fejt ki a vele kölcsönhatásba lépő, általunk megszokott makroszkopikus anyaggal.

Probléma: Ténylegesen léteznek-e a Maxwell egyenletekből következő elektromágneses hullámok?

Kutatási kérdés: Hogyan lehet elektromágneses hullámokat előállítani?

Hertz kísérletei igazolták a Maxwell-féle elektromágneses fényelméletet. Egy kondenzátorból és egy önindukciós tekercsből álló zárt rezgőkörben ideális esetben az elektromos mező a kondenzátorlemezek közti térrészben koncentrálódik. Az elektromos mező energiája negyed rezgés múlva teljes egészében a tekercs belsejében lévő mágneses mező energiájává alakul, majd újabb negyed rezgésidő múlva visszaalakul elektromos energiává és így tovább. A kör energiája tehát változatlan, kisugárzás nincsen. Azonban a *kondenzátorlemezek szétnyitásával*, vagyis nyitott rezgőkör esetében az elektromos erővonalak viszonylag messze benyúlnak a környezetbe, és ott az időben változó elektromos mező mágneses örvényteret kelt, ez utóbbi változása elektromos örvényteret kelt és így tovább, vagyis az energia egy részét a rezgőkör elektromágneses hullámok formájában kisugározza.

A nyitott rezgőkör egyik fajtája a végein ellátott fémrúd, amelyet Hertz-féle dipólusnak neveznek, vagy még egyszerűbb a sima rúd, vagy drótdarab. Ezt is dipólusnak nevezik, mivel az elektromos rezgések miatt a rúd két vége váltakozva ellentétes töltésű lesz. A rúdban nem koncentrálódik egy-egy helyre a kapacitás és az induktivitás, hanem egyenletesen oszlik el hosszirányban. A kondenzátor kapacitása, illetve az induktivitás viszonylag kicsi, így a frekvencia nagy lehet. A rúd alakú dipólus alaprezgésénél a rúd hossza a hullámhossznak éppen a fele (alaphang). Középen duzzadóhely van, a végeken pedig csomópont.

A dipólus sugárzási tere, azaz a rezgő dipólus által kisugárzott elektromágneses hullámokban az elektromos térerősség és a mágneses indukció, mint a hely és idő függvénye kiszámítható a Maxwell egyenletek alapján, melyet Hertz végzett el arra az idealizált esetre, amelyben a hullámhossznál sokkal rövidebb dipólus gömbjének Q töltése és az áramerősség is periodikusan változik az idő függvényében .

Az ilyen dipólust elemi dipólusnak vagy dipólusantennának nevezik.

A töltés nélküli állapottól ($t=0$) számított negyed rezgésidő múlva a dipólus felső felén maximális a pozitív töltés, az innen kiinduló elektromos erővonalak száma ekkor a legnagyobb. A második negyedrezgés során csökken a töltés és így kiinduló erővonalak száma is. Ezzel egyidejűleg a vonalak kezdenek kiterjedni a térben, és zárt erővonalak képződnek az egyidejűleg szintén változó mágneses indukciójavonalak körül. A második negyedrezgés végén nincs töltés a dipóluson, az elektromos erővonalak leszakadása befejeződik, a keletkezett zárt erővonalak továbbhaladnak a térben. A harmadik negyedrezgés végén a dipólus alsó felén lesz maximális a pozitív töltés, majd folytatódik tovább a jelenség. A következőkben a dipólustól távolabbi zónákban az elektromos erővonalak a dipólus meridiánsíkjában fekvő zárt görbék, míg a mágneses indukciójavonalak a dipólusra merőleges síkokban fekvő koncentrikus körök. A hullámok terjedése úgy képzelhető el, hogy az egész térbeli alakzat fénysebességgel kiterjed.

Az előbbieket alapján belátható, hogy az elektromos térerősségvektor, a mágneses indukcióvektor és a terjedési irány kölcsönösen merőleges egymásra. Következésképp a dipólus által kisugárzott elektromágneses hullám *transzverzális*, továbbá síkban vagy lineárisan poláros. A kisugárzás maximális a dipólusra merőleges irányban és zérus a dipólus irányában.

Hertz elvégezte az így keletkezett hullámokkal a fénytán jellegzetes kísérleteit, hiszen ha az elektromágneses hullámok és a fényhullámok valóban azonos természetűek, akkor a fényhullámok alapvető tulajdonságaival rendelkezniük kell. Fémlapról ugyanúgy visszaverődnek, mint a fény. A törés törvénye paraffin- vagy szurokprizma felhasználásával vizsgálható. A törés megnyilvánul pl. paraffin lencsének vagy petróleummal töltött üvegedénynek, mint hengerlencsének fókuszáló hatásában. Polarizációja a párhuzamos helyzetű oszcillátor és a rezonátor közé párhuzamos drótokból összeállított rács segítségével mutatható ki. Előállíthatók vele állóhullámok, valamint elhajlási jelenséget is mutatnak. Hertz kísérletei igazolták a Maxwell-féle elektromágneses fényelméletet. Az elektromágneses hullámok spektruma azonban igen nagy, amelyből a látható fény csak egy nagyon szűk tartomány.

Az elektromágneses hullámok spektruma igen nagy, amelyből a látható fény csak egy nagyon szűk tartomány.

Az elektromágneses spektrum

Sugárzás típusa	Hullámhossz	Frekvencia (Hz)
technikai váltóáram	18000-3000 km	17-100
hangfrekvenciás váltóáram	3000-30 km	100-10000
Hosszúhullámok	30-1 km	$1,5 \cdot 10^5$ - $3 \cdot 10^5$
Középhullámok	600-150 m	$5 \cdot 10^5$ - $2 \cdot 10^6$
Rövidhullámok	50-15 m	$6 \cdot 10^6$ - $2 \cdot 10^7$
ultrarövid hullámok	15-1 m	$2 \cdot 10^7$ - $3 \cdot 10^8$
Mikrohullámok	1 m -0,03 mm	$3 \cdot 10^8$ - 10^{13}
infravörös fény	0,3 nm -760 nm	10^{12} - $3,9 \cdot 10^{14}$
látható fény	760-380 nm	$3,9 \cdot 10^{14}$ - $7,8 \cdot 10^{14}$
ultraibolya fény	380-10 nm	$7,8 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{16}$
Röntgensugarak	10 nm -1 pm	$3 \cdot 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{20}$
gamma-sugarak	0,3 nm -30 fm	10^{18} - 10^{22}
kozmosz sugarak	30 fm -0,3 fm	10^{22} - 10^{24}

Eötvös Loránd (1848. Buda - 1919. Budapest)

Eötvös Loránd Ágoston 1848-ban született Budán, a Svábhegyen. Édesapja báró Eötvös József író, politikus, vallás- és közoktatásügyi miniszter, édesanyja Rosty Ágnes volt. Középiskoláit 1857-től a pesti piaristáknál, illetve magántanulóként végezte és itt érettségizett. Az érettségi után apja ösztönzésére jogi tanulmányokba kezdett, de matematikát is hallgatott, az ásvány- és kőzettannal is ismerkedett, és kémiai oktatásban részesült. Végül arra a következtetésre jutott, hogy a párhuzamosan folytatott kétirányú képzés nem célravezető, végül is választania kellett a jogi, és az érdeklődési körének jobban megfelelő természettudományi tanulmányok között. A végső döntésre 1867-ben került sor. Ebben az évben iratkozott be a Heidelbergi Egyetemre. Eötvös Kirchhoffnak (1824. Königsberg– 1887. Berlin) mind kísérleti, mind elméleti előadásait látogatta. Helmholtznál (1821. Potsdam – 1894. Charlottenburg) a hangtant és fénytant hallgatott. Bunsen (1811. Göttingen – 1899. Heidelberg) laboratóriumában pedig kémiai analíziseket végzett. Végül 1870-ben summa cum laude doktorált Heidelbergben. Itthon először az elméleti fizika, majd Jedlik Ányos nyugalomba vonulása után a kísérleti fizika professzora lett. 1891/92-ben a Budapesti Tudományegyetem rektora, 1889-től 1905-ig a Magyar Tudományos Akadémia elnöke volt.

Fizikai kutatásokat két nagyobb területen fejtett ki:

- 1886-ig a felületi feszültség kutatása. Felismerte a folyadékok különböző hőmérsékleten mért felületi feszültsége és móltömege közötti összefüggést, ami Eötvös-féle törvényként ismert.
- 1888-tól a gravitáció kutatása. Kifejlesztette a már életében róla elnevezett torziós ingát, mely egyaránt fontos az alapkutatás (a gravitáló, vagy súlyos- és a tehetetlen tömeg arányosságának kísérleti vizsgálata) és alkalmazott kutatás (geofizikai mérések, olajkutatás) szempontjából.

Közéleti tevékenysége is jelentős: 1891-ben alapította meg a napjaikban is működő Matematikai és Fizikai Társulatot, melynek mai neve Eötvös Loránd Fizikai Társulat. 1894-ben kultuszminiszterként előkészítette az Eötvös József Collegium megalapítását, mely napjainkban is működik. 1895-ben megszervezte a fizikatanárok egyetemi továbbképzését.

Tanárideálja az úgynevezett "tudós tanár" volt. Fontosnak tartotta a tudomány rangjának emelését hazánkban és a tudományos ismeretterjesztést is. Mivel szenvedélyes hegymászó is volt elvállalta a Magyar Kárpát Egyesület elnökségét. Napjainkban az ő nevét viseli az ország legnagyobb tudományegyeteme, a Geofizikai Intézet, a Fizikai Társulat és a tiszteletére 1894-ben alapított országos fizikaverseny.

Thomson (1856. Manchester – 1940. Cambridge)

Apja könyvkereskedő és -kiadó volt. Joseph John „J.J” Thomson mérnöknek tanult a **Manchester**i Egyetemen, Érdeklődése azonban egyre inkább a fizika tudománya felé fordult. 1876-ban ösztöndíjjal **Cambridge**-be utazott, és élete végéig e városban munkálkodott.

Thomson az elektron, az izotópok felfedezésével, és a tömegspektrométer feltalálásával vált híressé.

1906-ban tüntették ki a fizikai Nobel-díjjal az elektron felfedezéséért és a gázok elektromos vezetésével kapcsolatos eredményeiért.

1899-ben megmutatta, hogy a fényelektromos jelenség során kilépő részecskék fajlagos töltése megegyezik a katódsugárzás részecskéinek fajlagos töltésével, tehát a fényelektromos jelenségben is elektronok lépnek ki az anyagból. 1904-ben megalkotta saját

atommodelljét. Ebben a „mazsolás kalácsnak” nevezett modellben az atom pozitív elektromos közegében negatív töltésű elektronok mozognak.

1919-ben Thomson visszavonult, és a Cavendish laboratóriumot ő maga bízta legjelesebb tanítványa, E. Rutherford vezetésére.

Az elektron felfedezése

Az elektromos áram ritkított gázokban (mindössze néhány Pa) való vezetésének vizsgálata közben fedezte fel az elektront 1897-ben Joseph Thomson.

Probléma:

A 19. század végére sok ismeret gyűlt össze az anyag elektromos tulajdonságairól. Ellenben az elektromos és az atomi tulajdonságok közti kapcsolatra ugyan már Faraday elektrolízises törvényei is utaltak, de annak mibenléte még nem volt teljesen világos. Ezt a taláta meg Thomson.

Már az 1870-es évektől kezdve ismerték azt a jelenséget, hogy a légritkított térben lévő fémelektrodok között, megfelelően nagy potenciálkülönbség (néhány ezer volt) esetében a katódról sugárzás indul ki, amelyet el is neveztek katódsugárzásnak. Az eszköz neve pedig katódsugárcső. A katódsugarak elektromos és mágneses eltérítésével végzett kísérletek hatására vált egyre erősebbé az az elképzelés, hogy a katódsugár nem elektromágneses sugárzás, hanem negatív töltésű korpuzkulákból áll. De meg kell, jegyezzük, hogy voltak, akik inkább az elektromágneses hullámokhoz hasonló hullámjelenségnek gondolták. Tehát e *kétféle elképzelés között kellett választani.*

Kutatási kérdések: Milyen alkotóelemei lehetnek a katódsugárzásnak? Honnan származhatnak a katódsugárzás alkotóelemei?

„Mivel a katódsugarak negatív elektromos töltést hordoznak, az elektrosztatikus erő hatására úgy térülnek el, mintha negatív elektromos töltésűek lennének, és a mágneses erő úgy hat rájuk, mintha olyan negatív elektromos töltésű testre hatna, amely ezeknek a sugaraknak a pályáján mozog: csak arra tudok következtetni, hogy ezek olyan negatív elektromos töltések, amelyeket anyagi részecskék hordoznak. Ekkor rögtön felvetődik az a kérdés, hogy "Mik ezek a részecskék? Atomok vagy molekulák, vagy az anyag még finomabb részekre osztásával keletkeztek?"¹¹

Thomson a korpuzkuláris elképzelés mellett volt, és annak fényében kezdte el *vizsgálatait*, melynek során kimutatta, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, *amely részecskék azonosak, bármilyen elemet is használt katódként vagy töltőgázként.* Továbbá fémekből nemcsak a katódsugárcsőben léphetnek ki az előbb említett részecskék, hanem hevítés, sőt bizonyos fémekből megvilágítás hatására is.

¹¹ Joseph John Thomson Katódsugarak. *Philosophical Magazine*, 44, 293 (1897)
<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/mol/thomson.html>

KOVÁCS LÁSZLÓ: 100 éve: elektron. Lénárd Fülöp és J. J. Thomson katódsugárcsővei. *Természet Világa*. 1997. április <https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/mol/elektron.html>

Így arra a *következtetésre* jutott, hogy ez a részecske *minden elem atomjának alkotórésze*, amelyet elektronnak neveztek el. A szó görög eredetű és borostyánkővet jelent. (A borostyánkő dörzsölés hatására elektromos állapotba kerül, amely jelenséget már az ókori görögök is ismerték, bár magyarázni természetesen nem tudták. Erre a régen ismert tapasztalatra emlékeztet az elnevezés.) A nevet nem Thomson, hanem Georg J. Stoney (1853–1928) író fizikus adta már 1874-ben, mivel rámutatott arra, hogy amennyiben az anyag atomos szerkezetű, akkor az elektromosságnak is kell, hogy legkisebb adagja legyen.

További kérdések: Az újonnan felfedezett részecskéknek *mekkora* a tömege és a töltése?

Az elektron tömegének meghatározása a következő lépések szerint történhet:

1. Az elektronok a katódsugárcsőre kapcsolt gyorsító feszültség hatására a munkatétel alapján meghatározható mozgási energiára tesznek szert, ami: $qU = \frac{1}{2}mv^2$

2. A katódsugarat mozgási irányára merőleges, homogén mágneses mezőbe vezetjük, ahol azok körpályán fognak mozogni. A mozgásegyenlet a következőképp írható fel:

$$m \frac{v^2}{R} = qvB, \text{ amelyből a sebesség } v = \frac{q}{m} RB,$$

ezt beírva a munkatételbe: $qU = \frac{1}{2} m \frac{q^2}{m^2} R^2 B^2,$

ahonnan az elektron fajlagos töltése, $\frac{q}{m}$ kifejezhető: $\frac{q}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2}.$

A katódsugárcsőből kilépő sugárzás negatív töltésű részecskéinek fajlagos töltése a mérési eredmények szerint $-1,758804 \cdot 10^{11}$ C/kg. Ennél nagyobb abszolút értékű fajlagos töltést sohasem észleltek. Az elektron hordozza tehát a tömegegységre jutó legnagyobb töltést.

Thomson így írt 1897-ben az elektrorról:

"Ezekből a mérésekből azt látjuk, hogy m/q értéke független a gáz természetétől, nagysága (10^{-7}) pedig nagyon kicsiny a 10^{-4} értékhez képest, amely eddig ezen mennyiség legkisebb ismert értéke volt és amely érték az elektrolízisben található hidrogénionhoz tartozik...

m/q kicsiny volta eredhet m kicsinységéből, vagy q nagyságából, vagy a kettő kombinációjából...

... Ilyen módon a katódsugarak az anyag új állapotát jelentik, egy olyan állapotot, amelyben az anyag részecskéire bomlása sokkal magasabb fokú, mint a közönséges gázállapotban: ez egy olyan állapot, melyben minden anyag - származzon az hidrogénből, oxigénből vagy bármely más forrásból - már egy és ugyanazon fajta; lévén ez az a szubsztancia, amelyből az összes kémiai elem felépül." idézi u.ott

Az elektron töltését 1910-ben Millikan mérte meg nagy pontossággal.

Feltöltött vízszintes helyzetű kondenzátorlemezek közé igen kicsiny 10^{-7} - 10^{-8} m átmérőjű olajcseppeket juttatott porlasztás útján. A porlasztás közben néhány csepp negatív töltésűvé vált. A töltött cseppek viszont kölcsönhatásba lépnek a kondenzátorban lévő elektromos mezővel. A cseppekre ható erő egyenesen arányos annak töltésével a kondenzátor homogén

elektromos mezőjében, ami $qE = q \frac{U}{d}$, ahol U a kondenzátorlemezek közt lévő feszültség d

pedig a lemezek távolsága. Továbbá hat a cseppekre természetesen a nehézségi erő, ami mg , továbbá a levegő jelenlétéből származó közegellenállás a gömbnek tekinthető cseppekre $F_k = -6\pi\eta r v$, ahol η a levegő sűrűségére jellemző közegellenállási együttható és a levegő felhajtóereje. Amikor e négy erő eredője zérus lesz, akkor a cseppek egyenes vonalú egyenletes mozgást fognak végezni. Például egy r sugarú, q töltésű csepp az elektromos mező hatására v_1 sebességgel egyenletesen emelkedik, akkor az erőkre a következő összefüggés

$$\text{írható fel: } Eq + \frac{4r^3\pi}{3} \rho_1 g - \frac{4r^3\pi}{3} \rho_0 g - 6\pi\eta r v_1 = 0.$$

A ρ_1 a levegő sűrűsége a ρ_0 pedig az olaj sűrűsége. A csepp sugarának és sebességének ismeretében töltése meghatározható. A cseppek mozgása a berendezés oldalára szerelt mikroszkópon keresztül figyelhető meg, ahol egy skála teszi lehetővé a sebesség meghatározását. A cseppek mérete azonban különböző. Millikan ezt úgy oldotta meg, hogy miután egy csepp sebességét már meghatározta elektromos mezőben, akkor a kondenzátort kisütötte és ismét megmérte a csepp állandó v_2 sebességét az elektromos mező nélkül. Az állandó sebességgel süllyedő cseppekre ismét felírható az erők eredője, amely zérus:

$$\frac{4r^3\pi}{3} \rho_1 g - \frac{4r^3\pi}{3} \rho_0 g + 6\pi\eta r v_2 = 0.$$

Ebből az összefüggésből határozható meg a csepp sugara.

Millikan azt találta kísérletsorozataiban, hogy az olajcseppek töltése minden esetben egy adott érték, nevezetesen $1,6 \cdot 10^{-19}$ C egész számú többszörösének adódott. A töltésnek létezik egy legkisebb, tovább nem osztható adagja, amelyet ezért **elemi töltés**nek nevezünk. Az elemi töltés nagysága: $1,602892 \cdot 10^{-19}$ C.

Az elektron tömege a két mérés alapján már kiszámítható töltése és fajlagos töltése

$$\text{segítségével: } m = \frac{-e}{\frac{-e}{m}} = 0,910953 \cdot 10^{-30} \text{ kg.}$$

Thomson az elektront az anyag univerzális összetevőjének tekintette, és az atomok belső szerkezetének magyarázatára megalkotta az első atommodell. Elképzelése szerint az atom viszonylag nagy tömegű pozitív elektromos töltésű gömb melyben parányi elektronok helyezkednek el. Az elektronok száma annyi, hogy az elektronok együttesen éppen semlegesítik az atom pozitív töltését, és ez a szám a különböző elemek atomjainál más és más. A meghatározott pontokban levő elektronok nyugalmi helyzetük körül rezeghetnek. Thomson atommodelljét hamarosan E. Rutherford fejlesztette tovább.

Az elektron fajlagos töltésének tényleges mennyiségi meghatározására kifejlesztett módszert Thomson az atomtömegek mérésére is alkalmazta. Így fedezte fel a neon két

izotópját. Az izotópok elkülönítésére használt úgynevezett Thomson-féle parabolamódszer lényege: az ionforrás segítségével előállított ionsugaraknak egy keskeny nyalábja – nagy vákuumban – ellentétes irányú elektromos és mágneses mezőn halad át, és az ezekben való eltérítés után egy fotólemezzre jut. A mozgásegyenletekből levezethető, hogy az azonos e/m fajlagos töltésű, de különböző sebességű ionok a fotólemezt egy parabolaív mentén feketítik meg.¹²

Thomson fia, George Paget Thomson (Cambridge, 1892. – Cambridge, 1975.) 31 évvel később ugyancsak fizikai Nobel-díjat kapott, mint az elektrondiffrakció egyik felfedezője. Ez ugye azért érdekes, mert az idősebbik Thomson az elektront, mint részecskét kutatta és határozta meg a fajlagos töltését. Fia viszont a hullámjelleg felismerésében dolgozott.

Rutherford (Brightwater, 1871. – Cambridge 1937.)

Ernest Rutherford **új-zélandi** születésű brit fizikus. Új-Zéland Déli-szigetén született egy 12 gyermekes család negyedik gyermekeként. Apja Skóciából kivándorolt földműves volt, anyja Angliából kivándorolt tanítónő. Az állami iskola elvégzése után ösztöndíjat nyert egy magániskolába, ahol kitűnt tanulmányi eredményeivel. Az új-zélandi egyetemen 1894-ben matematikából és fizikából doktorált, majd a **Cambridge**-i Cavendish Laboratory-ban J. J. Thomson mellett a radioaktivitás jelenségét kutatva 1897-ben ő vezette be az alfa- béta- és gamma-sugárzás elnevezéseket. 1908-ban kimutatta, hogy az alfa-részecskék valójában héliumatommagok. 1898-1907-ig a **montreali** McGill egyetem fizikaprofesszora volt. 1907-ben elfogadta a **manchesteri** egyetem meghívását a fizika tanszék élére.

1908-ban kémiai Nobel-díjat kapott "az elemek bomlásának vizsgálataiért és a radioaktív anyagok kémiájában elért eredményeiért". Szórás kísérletei során 1911-ben felismerte, hogy az atomok pozitív töltése az atom nagyon kicsiny középső részében, az atommagban koncentrálódik.

1919-ben a Cambridge-i Cavendish Laboratory vezetője, a kísérleti fizika professzora lett, itt a fizika történetének egyik legjelentősebb kutatói iskoláját hozta létre, melyből több Nobel-díjas került ki. Ugyanebben az évben sikerült mesterséges kémiai elem átalakítást létrehozni: nitrogén atommagot bombázott alfarészecskéikkel, e reakció terméke volt az oxigén-17 és a proton, melyet Rutherford nevezett el.

Problémák: Thomson mazsolás kalács atommodellje nem magyarázott meg minden addig ismert tény. Például Lénárd Fülöp (Pozsony, 1862. – Messelhausen, 1947.) magyar származású Nobel díjas (1905) fizikus, a katódsugarak vékony fémfólián való kivezethetőségének magyarázatára azt gondolta ki, hogy az atom egy része üres, és a pozitív töltésű anyagdarabokat dinamidnak nevezte, dinamid-modell.

Kutatási kérdések: Milyen lehet az atom szerkezete? Hogyan helyezkednek el az atomban a pozitív töltések? Hogyan lehetne ezt megvizsgálni?

¹² Sükösd Csaba: XI. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY Beszámoló, II. rész. Fizikai Szemle 2009/2. 75.o.

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0902/sukosd0902.html>

Munkatársaival vékony fémlamezeken áthaladó alfa-részecskék szóródását vizsgálta.

A Nevezetes Rutherford-féle szóródási formula a következő:
$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{Ne^4 Z^2 s}{m^2 v_0^2 \sin^4(\vartheta/2)} \Delta\Omega$$
,

ahol s a fólia vastagsága n az áthaladó α - részecskék száma, amelyek közül Δn szóródik a ϑ szög körüli ama kis $\Delta\Omega$ térszögbe. N a fólia térfogategységében lévő atomok száma, e az elemi töltés, m és v_0 az α - részecske tömege, illetve kezdeti sebessége.¹³

Nézzük meg egy R sugarú töltött Q gömb által kialakított elektromos mező térerősségének alakulását!

Ha $r > R$, vagyis a gömbön kívül vagyunk, akkor a térerősség úgy változik a gömb középpontjától mért távolság függvényében, mintha a teljes töltés a középpontban lenne, vagyis:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Ha $r < R$, akkor az r sugáron belül lévő töltést kell csak figyelembe venni, vagyis:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(r)}{r^2}$$

$$\frac{Q(r)}{Q} = \frac{\frac{4\pi}{3} r^3}{\frac{4\pi}{3} R^3} = \frac{r^3}{R^3}$$

$$Q(r) = \frac{Qr^3}{R^3}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qr^3}{R^3} \frac{1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^3} r$$

Ha $R = r$, akkor

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$

Vagyis a következőképpen alakul a térerősség nagysága a gömb középpontjától mért távolság függvényében: lineárisan nő egészen a gömb felületéig, majd onnan $1/r^2$ - nek megfelelően csökken. Tehát a legnagyobb az értéke a gömb felületén. Továbbá az is látszik, hogy minél kisebb a gömb R sugara, annál nagyobb a felületén a térerősség!

¹³ Szilárd Leó Verseny szimulációs feladatai:

<http://www.szilardverseny.hu/cikkek/szimulacios-feladatok>

Rutherford kísérlet szimulációja:

<http://sukjaro.eu/SCsaba/Rutherford/Rutherford.htm>

A szórás formulából sikerült továbbá a Z értékét is meghatározni a nagyobb rendszámú elemek esetében, végül felismerték, hogy ez éppen a rendszámmal azonos!

Így egy kémiai elem rendszámának hármass jelentése van: az elem periódusos rendszerbeli sorszáma, az elem atomjának magjában lévő pozitív elemi töltések száma és a semleges atom elektronjainak száma. Ezek alapján a Rutherford-féle atommodell a következőképp jellemezhető:

Egy Z rendszámú elem atomjának tömege túlnyomórészt a Ze pozitív töltésű atommagban összpontosul, és e mag körül "kering" a Z számú elektron, hasonlóan, mint ahogyan a bolygók keringenek a Nap körül. Ezért ez az elképzelést az "*atom bolygómodellje*"-nek is nevezik.

Ez a modell nagy fejlődést jelentett a régebbi elképzelésekkel szemben, azonban van egy súlyos hiányossága, mivel elektrodinamikailag nem stabilis. Ugyanis az elektronoknak a keringés során - amely két egymásra merőleges harmonikus rezgés eredőjének tekinthető - elektromágneses hullámokat, fényt kellene kisugározni, mint a rezgő dipólusnak. A kisugárzás miatt viszont az elektron folytonosan energiát veszítene, a maghoz egyre közelebbi pályán, vagyis spirális mentén mozogna egyre nagyobb frekvenciával és végül a magba zuhanna és az atom, mint olyan megsemmisülne. Továbbá a keringési frekvenciával együtt folyamatosan nőne a kisugárzott fény frekvenciája is, vagyis folytonos színeképet bocsátana ki. A tapasztalat viszont az, hogy az atomok léteznek, és vonalas színeképet bocsátanak ki.

További kérdés volt az, hogy miként okozhatják az atomszerkezet mennyiségi különbségei az elemek minőségi tulajdonságaiban megfigyelt különbségeket? Hogyan lehetséges az, hogy a 17 elektronnal rendelkező klór rendkívül reakcióképes sárga színű gáz és sok vegyület alkotórésze, a 18 elektronnal rendelkező argon szintelen nemesgáz és egyáltalán nem alkot vegyületeket, a 19 elektronos kálium pedig alkálifém, szintén nagy reakciókészséggel és sok vegyület alkotórésze? Miként képes egy többletelektron vagy egy elektron hiánya ilyen nagy különbségeket létrehozni az atomok tulajdonságaiban? Ezekre a kérdésekre a kvantumelmélet tudott választ adni.

Marie Curie (1867. Varsó – 1934. Passy) és Pierre Curie (1859. Párizs – 1906. Párizs)

Maria Salomea Sklodowska **Varsóban** született 1867. november 7-én. 1883-ban érettségizett a Varsói Lánygimnáziumban, kiváló eredménnyel. Sokáig magántanítóként működött, később nevelőnői állás vállalt vidéken. Szabadidejében matematikai, fizikai, szociológiai és filozófiai tanulmányokat folytatott. Varsói házitánítósága alatt kezdte meg tanulmányait a Varsói Ipari és Mezőgazdasági Múzeum által szervezett kémiai analitikai tanfolyamon unokafivére, József Boguski (1853–1933) felügyelete alatt, aki korábban a periódusos rendszert megalkotó Dmitri Mengyelejev (1834. Verkhnie Aremzjani – 1907. Szentpétervár) orosz kémikus asszisztenseként dolgozott. Itt tett szert azokra a nagyon fontos analitikai kémiai ismeretekre, melyek segítségével, évekkel később sikerült előállítania a polóniumot és a rádiumot.

Maria 1891-ben kezdte meg tanulmányait **Párizsban** a Sorbonne-on. 1893-ban fizikából, és 1894-ben matematikából szerezte meg diplomáját. Ugyanebben az évben találkozott össze Pierre Curie-vel, aki ekkoriban a Sorbonne fizika-kémia tanszékén volt oktató. Közös tudományos érdeklődésük, a mágnesesség hozta őket össze, mivel ezekben az

időben Maria a különböző acélok mágneses tulajdonságait vizsgálta. 1895. júliusában összeházasodtak.

Marie Curie 1898. elején kezdte el doktori munkáját. Ehhez keresett témát és rátalált Henri Becquerel (1852. Párizs - 1908. Le Croisic,) eredményeire. Időközben férje, Pierre Curie is oly érdekesnek és izgalmasnak találta felesége kutatásait, hogy abbahagyta saját, sok eredményt hozó kutatási témáját és csatlakozott Marie sugárzó anyagainak a tanulmányozásához. Marie Curie a témából készült disszertációját rövid időn belül nagyon sok nyelvre, többek közt magyarra is lefordították.¹⁴

Milyen ismeretekre lehetett támaszkodni?

Gyakorlatilag készen álltak a klasszikus mechanika, a hőtan és az elektrodinamika törvényei. A kémikusok nagy valószínűséggel állították és sok fizikus is elfogadta, hogy az anyag atomokból áll. El tudták különíteni az elemeket, a vegyületeket és a keverékeket. Rájöttek, hogy az egyes elemek atomjai egymástól tömegükben különböznek, így meghatározták az egymáshoz viszonyított tömegeket, az úgynevezett relatív atomtömegeket, melyek segítségével Mengyelejev felfedezte a periódusos rendszert, melyben azonban még sok üres hely volt.

A 19. század végére ismertté vált Maxwell, James Clerk Maxwell (1831. Edinburgh, - 1879. Cambridge), elmélete, majd Hertz, Heinrich Rudolf Hertz (1857. Hamburg – Bonn, 1894.), kísérletei nyomán felfedezték az elektromágneses hullámokat, és hogy a fény is ebbe a családba tartozik. Majd a század végén további sugárzásokat fedeztek fel, mint Röntgen – sugarak, a foszforeszkálás és a fluoreszcencia tanulmányozása következett, a katódsugárzás tanulmányozása révén felfedezték az elektront, ismert volt a csősugárzás. Felfedezték a színeképelemzést is, de csak mint egy az elemek azonosítására szolgáló módszert, vonalkódot, melyet használtak, de azok létrejöttéről nem volt tudomása a kor tudósainak.

A korszak tudományos problémái: Honnan származik a Becquerel féle sugárzás? Egyáltalán hányféle sugárzás van? Hogyan keletkezik az atomok színeképe és miért vonalas?

Kutatási kérdések: Mely anyagok bocsátanak ki sugárzást? Mitől függ, hogy egy anyag mennyi sugárzást bocsát ki? Hogyan lehet azt mérhetővé tenni?

Mérési lehetőségek

A radioaktivitás felfedezését követően az első fontos probléma a különböző mennyiségi összehasonlításokra lehetőséget adó mérési módszerek kidolgozása volt. A sugárzás erősségére például az általa a levegőben okozott elektromos vezetőképesség (ionizáció) mérése alapján lehet következtetni. Marie Curie ezt a módszert alkalmazta, melyhez a mérőeszközt férje készítette, aki ekkor kapcsolódott be felsége kutatásaiba. A rendkívül kicsi (pikoamper nagyságrendű) áramok pontos mérésére alkalmas mérőberendezést Pierre Curie készítette a fivérével közösen felfedezett piezoelektromosság jelenségének felhasználásával. Ezzel a módszerrel Marie Curie megmérte egy sor fém, só, oxid és ásvány sugárzó képességét.

Több fontos megállapítás:

¹⁴ Radnóti Katalin (2011): 2011. A Kémia Éva – Marie Curie kísérletei *Nukleon*. IV. évfolyam 2. szám http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_4_2_90_Radnoti.pdf

- Minden megvizsgált uránvegyület aktív volt, és általában annál aktívabb, minél több uránt tartalmazott.
- A tórium és vegyületei is emittálnak ionizáló sugárzást. A radioaktivitás tehát atomi tulajdonság, az urán és a tórium atomok tulajdonsága.
- Egyes uránércek aktivitása nagyobb, mint a fém uráné és uránoxidé.

Következtetés:

Mivel a radioaktivitás atomi tulajdonság, ebből következik, hogy egy érc aktivitása csak akkor lehet nagyobb, mint a tiszta uráné, ha az érc más radioaktív elemet is tartalmaz.

Hipotézis:

„...úgy gondoljuk, hogy az uránszurokércből általunk kivont anyag olyan fémot tartalmaz, amelyet eddig még nem írtak le, és analitikai tulajdonságai hasonlóak a bizmut tulajdonságaihoz.”¹⁵

Marie Curie hipotézise teljes mértékben illeszkedett a korszak tudományos gondolkodásához. Elfogadott volt, hogy Mengyelejev periódusos rendszerében vannak üres helyek, melyekbe addig még fel nem fedezett elemek kerülhetnek.

Marie Curie 1903-ban készült doktori értekezés címe: Radioaktív anyagokra vonatkozó vizsgálatok. Ebben az évben kapta meg a házaspár Becquerellel közösen a fizikai Nobel díjat „*sugárzásjelenségek vizsgálataiért*”. 1911-ben Marie Curie megkapta a második Nobel díjat már egyedül, mivel férje Pierre Curie 1906-ban balesetben meghalt, ami kémiai volt "*a rádium és polónium felfedezéséért, a rádium fémállapotban való előállításáért, természetének és vegyületeinek vizsgálataiért*".

Marie Curie élete hátralévő éveiben megalapította a Curie Intézetet, mely számtalan nemzet kutatóinak teremtett lehetőséget a radioaktivitással való megismerkedésre. Számtalan meghívást kapott, többször járt az Amerikai Egyesült Államokban is lányaival. Idősebb lánya, Irene Curie (1897. Párizs –1956. Párizs) szintén Nobel díjas lett férjével, Frederic Joliot-Curie-vel (1900. Párizs –1958. Párizs) a mesterséges radioaktivitás felfedezéséért. Kisebbik lánya Eva Curie (1904. Párizs – 2007. New York) író lett, aki többek közt megírta édesanyja élettörténetét.

A Curie házaspár munkássága nagyon sok további kutatást indukált, melyet minden lehetséges módon elősegítettek a kezdetektől fogva azzal, hogy rögtön leírták eredményeiket, radioaktív mintákat adtak több kutatócsoportnak.

Hatás napjainkra: orvosi alkalmazás, ipari mérőberendezések része, felbecsülhetetlenül sok területen.

Planck (1858. Kiel - 1947. Göttingen)

Max Planck hagyományos értelmiségi családból származott. Dédapja és nagyapja is teológus professzor volt **Göttingenben**, apja jogász professzor **Kielben** és **Münchenben**. Középiskolába Münchenben, egyetemre Münchenben és **Berlinben** járt. Szinte szállóigeként szokták idézni Planck fizikaprofesszorát, Philip von Jolly (1800. **Mannheim** – 1884.

¹⁵ Curie, P., Curie, Mme P. (1898a) Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende, *Compt. Rend.*, 127, 175. (Az uránszurokérc egyik radioaktív anyagáról.)

München) megjegyzését, miszerint „ebben a tudományágban már szinte mindent felfedeztek, és már csak néhány jelentéktelen lyukat kell betömni”. És ezt ténylegesen sok fizikus így gondolta abban az időben.

Doktori disszertációjában a termodinamika második főtételének egzakt megfogalmazását és következményeit tárgyalta. Ezt követően Münchenben az egyetem magántanára lett, majd Kielben rendkívüli tanár, később Berlinbe került.

1900-ban a sugárzási energia kvantáltságának feltételezésével levezetett egy, a kísérleti tapasztalatokkal összhangban lévő összefüggést az abszolút fekete test hőmérsékleti sugárzására vonatkozóan. Dolgozatában arra a forradalmi következtetésre jutott, hogy az energia csak oszthatatlan elemi részecskék (kvantumok) formájában létezhet az $E = h \cdot \nu$ összefüggésnek megfelelően, (ahol a h a hatáskvantum, melyet ma Planck-állandónak hívunk, $h = 6,63 \cdot 10^{-24}$ Js — a ν pedig a sugárzás frekvenciája). Ez a kvantumhipotézis. Planck 1900. december 14-én mutatta be elméletét Berlinben a Német Fizikai Társaság ülésén tartott előadásában. Ma ezt tekintjük a kvantumfizika születésének. A Nobel-díjat is a hatáskvantum felfedezéséért kapta 1918-ban.

Planck a fizika más területén is alkotott. Tőle származik a tömeg-energia ekvivalencia pontos megfogalmazása.

Többször járt Magyarországon is. A Magyar Tudományos Akadémia 1940. április 26-án választotta meg külső tagjának. Idős korában növekvő egészségügyi problémái ellenére előadókörutakat vállalt. 1947. október 4-én több gutaütés közben elesett, és kórházban meghalt. Sírja a göttingeni városi temetőben található több más Nobel-díjasé között.

Az eredetileg Vilmos császárról elnevezett német kutatóintézeti hálózatot napjainkban Max Planck Intézetnek hívják. A Német Fizikai Társaság egyik éremét, melyet az elméleti fizikában különösen eredményes tevékenységért évente ítélnek oda, szintén Max Planckról nevezték el.

Heisenberg (1901. Würzburg - 1976. München)

Werner Heisenberg **Münchenben** járt iskolába és itt érettségizett, majd szerzett bölcsészdoktori oklevelet elméleti fizikából 1923-ban. Ezután tanársegéd lett **Göttingenben** és ugyanott 1924-ben magántanárrá habilitálták. Ezt követően dolgozott Niels Bohr mellett a koppenhágai egyetemen, majd több német egyetemen, mint **Lipcsében**, **Berlinben**, Göttingenben, Münchenben. Lipcsében doktorált nála Teller Ede.

Munkássága kiterjedt szinte az egész elméleti fizika, különösen az atomfizika, a magfizika és az elemi részek fizikájának területére.

1925-ben dolgozta ki a kvantummechanika első megfogalmazását, a mátrixmechanikát. Felállította a mikrofizika egyik legalapvetőbb összefüggését, a róla elnevezett határozatlansági összefüggést. 1932-ben kapta meg a fizikai Nobel-díjat.

Nevéhez fűződik az első atommagelmélet kidolgozása, amely szerint az atommag protonokból és neutronokból épül fel.

A 2. világháború alatt részt vett a német atomfegyver-program fejlesztési munkáiban. Szerepe ebben máig vitatott, mivel a kritikus tömeget túl nagyra becsülte. Így végül nem sikerült Németországnak a háború alatt előállítania az atombombát. Az atombomba program létezését Heisenberg közölte Niels Bohrral, amikor 1941 szeptemberében **Koppenhágában** meglátogatta. A találkozást dráma dolgozza fel.

Többször járt Magyarországon. 1964-ben Az Eötvös Loránd Tudományegyetem díszdoktora lett.

Bohr (1885. Koppenhága - 1962. Koppenhága)

Niels Bohr apja a **Koppenhágai** Egyetem fiziológiaprofesszora volt. Anyja, Ellen Adler Bohr egy gazdag szefárd zsidó családból származott. Bohr szenvedélyes labdarúgó volt, testvére sokat játszott, aki válogatott kerettag volt. A koppenhágai egyetemen szerzett doktori fokozatot 1911-ben, majd Ernest Rutherford mellett dolgozott **Manchesterben**. 1918-ban visszatért Koppenhágába, az ottani egyetem professzora, majd az újonnan alapított Elméleti Fizikai Intézet igazgatója lett, melyet 1962-ig vezetett.

1913-ban publikálta az atom elektronszerkezetének róla elnevezett modelljét. Ebben elsőként alkalmazta az atomelméletben Max Planck kvantum-hipotézisét. 1922-ben kapta meg a fizikai Nobel-díjat az atomszerkezet és az atomok által kibocsátott sugárzás kutatásában elért eredményeiért. Modellje alapján megadta az elemek periódusos rendszerének elméleti magyarázatát. Ennek segítségével fedezte például Hevesy György (1885. Budapest – 1966. Freiburg) a hafniumot, mivel azt a mezőbeli elemként kereste.

A 2. világháború alatt Svédországba, majd onnan az Egyesült Államokba menekült a németek által megszállt Dániából. Az Egyesült Államokban részt vett az atombomba létrehozására irányuló **Manhattan projektben**. 1945-ben tért vissza Koppenhágába. Ezután az atomenergia békés felhasználásának szorgalmazója lett. Az általa vezetett intézetet halála után Niels Bohr Intézetnek nevezték el. 1938-ban a Magyar Tudományos Akadémia is tiszteleti tagjává választotta.

Fia, Aage Bohr (1922. Koppenhága - 2009. Koppenhága) is fizikai Nobel-díjat kapott 1975-ben.

Kvantummechanika

Azt, hogy az energia valóban kvantumozott szerkezetű, először *Einstein* ismerte fel. *Planck* inkább csak, mint munkahipotézisnek gondolt rá. Viszont Einstein ennek alapján magyarázott meg egy ismert és mindaddig megmagyarázatlan jelenséget, a fotoeffektust.

A következő fontos lépést szintén Einstein tette meg, amikor 1907-ben a kvantumhipotézist alapul véve megmagyarázta a szilárd anyag fahőjének zérushoz tartását az abszolút zéruspont közelében.

Nagy fordulat a kvantummechanika kialakulásában Niels Bohrnak a hidrogén-atomra vonatkozó elméletével következett be. Ez tényleges szakítás volt a klasszikus fizikával az atomok világában. A hatáskvantum a Bohr-elméletben a stacionárius elektronpályák kiválasztásában jelenik meg. Eszerint csak olyan pályákon lehet az elektron, amelyekre vonatkozóan az impulzusnyomaték a hatáskvantum egészszámú többszöröse. Sugárzás akkor következik be, amikor az elektron egyik magasabb energiájú pályáról egy alacsonyabb energiájúra ugrik. A közben kibocsátott sugárzás energiája a két pálya energiakülönbségnek felel meg. A kibocsátott foton frekvenciája a foton energiája osztva a Planck állandóval.

A sugárzás részecsketulajdonságainak meggyőző kísérleti bizonyítéka volt a Compton-szórás felfedezése. Arthur Holly Compton (1892 Wooster – 1962 Berkeley) 1922-ben megállapította, hogy ha egy röntgenkvantum szórás során atomban kötött elektronnal ütközik, akkor energiájának csak egy részét adja át az ütközést követően kibocsátott elektronnak, ami miatt a foton kisebb energiával, vagyis megnövekedett hullámhosszal hagyja el az atomot.

A teljes áttörést a Heisenberg-féle felcserélési törvények jelentik.

A kvantummechanikai jelenségek értelmezése sok filozófiai problémát is felvet. Többféle modell alkalmazása a fényre és az elektronra, mint részecske és hullám. Mik a megismerés határai? Mennyire pontosan lehet megadni egy részecske helyét és sebességét?

A kvantummechanikai atommodell az elektron hullámtermészetére épül. A különböző állapotok kvantáltsága ebben a modellben már következik az állóhullám-állapotokból, nem pedig mint ad hoc hipotézis jelenik meg (mint a Bohr-modell esetében), amelyet fel kell tenni ahhoz, hogy értelmezni lehessen a kísérleti tapasztalatokat. Továbbá az állóhullám-moddal magyarázható meg a molekulák alakja, ami az enzimek és a többi biológiai fontos molekula működésének is az alapja.

Félvezetők

A félvezetők olyan anyagok, amelyek fajlagos ellenállása a vezetők és a szigetelők közé esik. Az ilyen anyagok jellemző tulajdonsága ellenállásuk hőmérsékletfüggése. A félvezetők ellenállása a fémekkel ellentétben a hőmérséklet növelésével exponenciálisan csökken, tehát elektromos ellenállásuk negatív hőmérsékleti együtthatóval (NTC) rendelkezik. Alacsony hőmérsékleten a félvezető szigetelőként viselkedik, de szobahőmérsékleten sajátvezetése van.

A félvezetőknél a vegyértéksáv és a vezetési sáv közötti tiltott sáv mindössze pár elektronvolt szélességű (germánium esetében 0,7 eV, szilícium esetében 1,1 eV). Sok elektron már szobahőmérsékleten is rendelkezik akkora termikus energiával, hogy átugorjon a vezetési sávba, pozitív töltésű mozgékony elektronlyukat hagyva maga után. Így a vezetési sávban az elektronok, a vegyértéksávban pedig a lyukak képesek vezetni. A töltéshordozók kialakulása révén az anyag vezeti az elektromos áramot.

Vannak olyan anyagok, amelyek tiszta állapotban rendelkeznek félvezető tulajdonságokkal: a germánium (Ge) a szilícium (Si) és a szelén (Se).

A félvezető jelleg egyes anyagokban célzott szennyezéssel befolyásolható.

A félvezetők elektromos és optikai tulajdonságai jelentősen változhatnak, ha az anyagba kontrollált módon, kis mennyiségben, speciálisan választott szennyezéseket, ún. adalék atomokat viszünk be. Ezeknek a szennyezéseknek a bevitelével a mozgékony töltéshordozók koncentrációját több nagyságrenddel megváltoztathatja.

A vegyérték elektrontöbblettel rendelkező adalék atomok – az ún. donorok, amelyek a kristályrács normál atomjainak egy kicsiny hányadát helyettesítik – a mozgékony elektronok túlnyomó részét hozzátják létre. Az anyagot ekkor n-típusú félvezetőknek mondjuk. Ily módon, ha a periódusos táblázat V. oszlopbeli atomjai (pl. P vagy As) helyettesítik, a IV. oszlop atomjait egy elemi félvezetőben (pl. Si-ban, vagy Ge-ban), vagy ha a VI. oszlop atomjai (pl. Se vagy Te) helyettesítik a V. oszlopbeli atomokat egy III.-V. komponensű félvezetőben (pl. As vagy Sb atomokat), akkor egy n-típusú anyagot kapunk.

Hasonlóképpen, p-típusú félvezető készíthető kevesebb vegyérték elektronnal rendelkező adalék atomok használatával. Ezeket az atomokat akceptor atomoknak hívjuk. Ebben az esetben a mozgékony lyukak dominanciáját kapjuk eredményül. A IV. oszlop atomjait a III. oszlop atomjaival (pl. B-ral vagy In-mal) helyettesítve, vagy a III. oszlop atomjait egy III.-V. kétkomponensű félvezetőben a II. oszlop atomjaival (pl. Zn-vel vagy Cd-mal) helyettesítjük, akkor p-típusú anyagot kapunk. A IV. oszlop atomjai donorokként hatnak a III. oszlop atomjaira és akceptorokként a V. oszlopbeli atomokra, ennél fogva használni lehet a III.-V. anyagokban mind az elektronok, mind a lyukak többletének az előállításához. Természetesen az anyagok töltéssemlegessége nem változik az adalékok bevezetésével.

Vannak szerves félvezetők is, melyek napjainkban már egyre szélesebb körű alkalmazást nyernek a legkülönbözőbb területeken. Adalékolatlan állapotban a konjugált polimerlánc (egy egyes és egy kettős kötés váltakozása) vegyértéksávja rendszerint telített, és a vezetési sávja üres, ily módon szigetelőként viselkedik. Azonban az olyan adalékok, mint a nátrium és a jód, donorokként és akceptorokként hatnak, létrehozva a vezetési n- és p-típusú változatát.

A vezetőképesség megvilágítás hatására is változik.

A félvezetőket az elektronikában már több évtizede használják. Belőlük épül fel az egyenirányító dióda, a tranzisztor, és még sok más elem (tirisztor, LED, fotodióda).

Einstein (1879 Ulm – 1955 Princeton)

Albert Einstein 1879-ben született a bajorországi **Ulm**ban. Szülése után a család rögtön **München**be, majd később **Milánó**ba települt át. Einstein annyiban különbözött a többi gyerektől, hogy sokszor csodálkozott el a világ jelenségein. Ötéves korában egy iránytű volt a legkedvesebb játéka, tizenöt éves korában pedig azon gondolkodott, hogy mit látna, ha utolérné a fényt. Harmincévesen pedig azon gondolkodott, hogy milyen lehet a világ a zuhanó liftben.

A **zürichi** műegyetemen matematika-fizika szakos tanári oklevelet szerzett. Az egyetem elvégzése után házitanító volt, majd a **berni** Szövetségi Szabadalmi Hivatal tisztségviselője lett. E nyugodt munkakör gyümölcsének szották tekinteni a három 1905-ben megjelent nagy tanulmányát. Az egyik a *Brown-mozgással*, a másik a *fényelektromos jelenséggel*, a harmadik pedig a *mozgó testek elektrodinamikájával* foglalkozik. Mindháromnak óriási jelentősége van a fizikában. Gyakran hivatkoznak erre az esztendőre, mint „*Annus Mirabilis*” (latinul: A csodák éve). Ezek miatt ünnepelték a századik évfordulón, 2005-ben a fizika évét.

1906-ban Einstein másodosztályú technikai vizsgálóvá lépett elő, majd 1909-ben a Zürichi Egyetem docensnek hívta meg. 1911-ben a **Prágai** Károly Egyetem rendes professzora lett egy évre.

1914-ben, éppen az első világháború kitörése előtt lett Einstein **Berlinben** a helyi egyetem professzora és a Porosz Tudományos Akadémia tagja. Háborúellenessége és zsidó származása annyira zavarta a német nacionalistákat, hogy a már ekkor világhírű tudós elméleteit megpróbálták hiteltelenné tenni egy ellene szervezett kampányon keresztül.

1914-től 1933-ig a Vilmos Császár Fizikai Intézet igazgatójaként dolgozott.

1915 novemberében előadásorozatot tartott a Porosz Tudományos Akadémián, amelyben ismertette az általános relativitáselméletet. Az általános relativitáselméletben a gravitáció nem erő (ahogy a newtoni elméletben), hanem a téridő görbületének következménye. Ez az elmélet szolgált a kozmológia megalapozására és a világegyetem sok tulajdonságának megértésére, melyet jóval Einstein halála után fedeztek fel. Az elmélet nem kísérletezés és megfigyelés során született, hanem elméleti és matematikai következtetésekkel. Einstein egyenletei előrejelzéseket tettek lehetővé; melyeket mérésekkel lehetett ellenőrizni. Az egyik ilyen esetben azt mérték, hogy napfogyatkozás alkalmával a Naphoz közeli csillag fényét mennyire hajlítja el a Nap gravitációja. A kapott érték szépen megfelelt az Einstein által számolt adatnak. A másik a Merkúr mozgásának leírása. A gravitációs hullámok létének elképzelése is tőle származik, melyet 2016-ban igazoltak.

Az 1920-as években Einstein volt a vezető alakja volt a Berlieni Egyetemen hetente rendezett fizika kollokviumnak, melyekre olyan magyarok is jártak, akik később az amerikai atomprogramban vettek részt.

1932 decemberében Einstein úgy döntött, hogy az USA-ba költözik. A család **Princetonban** vett magának házat, és Einstein az ottani egyetemen dolgozott.

1953-ban még kiadta a módosított egyesített térelméletét. Álmban halt meg egy princetoni kórházban.

Speciális relativitáselmélet

Problémák: a Michelson-Morley kísérletben nem sikerült kimutatni, hogy a fény valamilyen közegben (éterben) mozog. A klasszikus mechanika szerint a fényvel szemben haladva nagyobbak kell mérni a fény sebességét a vákuumbeli sebességhez képest, azonos irányban pedig kisebbnek. A Maxwell-elmélet szerint a fénysebesség nem függ a megfigyelő mozgásától.

Hipotézis: Nincs éter és a vákuumbeli fénysebességnél nem lehet nagyobb sebességet elérni.

A speciális relativitáselmélet az idő, a távolság, tömeg és energia olyan elmélete, mely összhangban van az elektromágnesességgel, de még nincs benne a gravitáció.

Ez az elmélet csak azokkal a megfigyelőkkel foglalkozik, akik egymáshoz képest egyenletesen mozgó speciális rendszerben, úgynevezett inerciarendszerben helyezkednek el. Az alapnak tekinthető első cikk címe: „*A mozgó testek elektrodinamikájáról*” és az elmélet csak később kapta a speciális relativitáselmélet nevet. Az elmélet felteszi, hogy a fénysebesség vákuumban ugyanaz minden megfigyelő számára.

Egyik következménye a *hosszúság-kontrakció*, melynek értelmében egy nyugvó rendszerben l hosszúságú test egy mozgó koordináta-rendszerben megrövidül. Ez a jelenség hosszúságmérő eszközökkel nem bizonyítható, mivel azok is hosszúság-kontrakciót szenvednek.

Egy másik következmény az *idődilatáció*, mely szerint egy nyugvó rendszerben Δt idő alatt lejátszódó esemény egy mozgó koordináta-rendszerben hosszabb ideig tart.

Az idődilatáció és a hosszúság-kontrakció egymásból következő fogalom, a kísérleti bizonyítékok csak a kettő együttes feltevése esetén állják meg a helyüket.

A szintén az elméletből adódó, a mozgással lassuló időnek igen érdekes példáját, kísérleti bizonyítékát szolgáltatják a müonok, amelyek $2,2 \cdot 10^{-6}$ s átlagos élettartamú, spontán bomló részecskék. Ezek a részecskék a kozmikus sugárzással érkeznek a Földre, de laboratóriumban is előállíthatók. A kozmikus sugárzásban levő müonok egy része elbomlik a Föld középső légrétegeiben, azonban a többi csak anyagban való lefékezés, megállás után bomlik el. A rövid élettartamú müon esetében, ha "életidejét" megszorozzuk a fény terjedési sebességével, azt kapjuk, hogy még 600 m utat is alig tud megtenni. Ennek ellenére a tapasztalat az, hogy a földi atmoszféra tetején, néhány száz 10 km magasságban a kozmikus sugárzás hatására keletkező részecske megtalálható a Föld felszínén levő laboratóriumokban is. Hogyan lehetséges ez? A jelenség magyarázata az, hogy a különböző müonok különböző sebességgel mozognak, és némelyiknek igen közel van a sebessége a fénysebességhez. Míg saját (mozgó) rendszerük szempontjából mindössze $2,2 \cdot 10^{-6}$ s az élettartamuk, addig a mi rendszerünkben nézve ez az időtartam lényegesen hosszabb, annyival, hogy elérhetik a Föld felszínét. A különböző sebességű müonok élettartamának a mérése igen nagy pontossággal igazolta az einsteini formulát.

A *tömeg* szintén függ a mozgás sebességétől, növekszik a sebességgel. Erre bizonyítékot az elemi részecskék gyorsítása szolgáltat, mely egyre nehezebb nagyobb

sebességek esetében. A tömeg arányos az energiával, az arányossági tényező pedig a vákuumbeli fénysebesség négyzete.

A *sebességek összegzése* sem történhet hagyományos úton. Az összeg nem lehet nagyobb vákuumbeli fénysebességnél.

A tér és az idő nem függetlenek egymástól, hanem szervesen összetartoznak, egy magasabb rendű egység részei. Ezt a magasabb rendű egységet *téridőnek* is szokás nevezni.

Röntgensugárzás

A röntgensugárzás nagyenergiájú elektromágneses sugárzás, amelynek hullámhossza vákuumban a néhányszor 10 nanométer és a néhányszor 10 pikométer közé esik. A határok nem szigorúak. Az ennek megfelelő frekvenciatartomány nagyjából $30 \cdot 10^{15}$ Hz és $30 \cdot 10^{18}$ Hz között van. Legfontosabb felhasználási területei az orvostudomány és a kristályszerkezet vizsgálat. A röntgenfoton energiája nagyjából 0,1 keV és 1 MeV között lehet, ezért ionizáló sugárzás, ami élettanilag veszélyes.

A röntgensugárzás előállításához használt eszköz a röntgenső. A légritkított térben lévő elektródákra nagyfeszültséget kapcsolva, a katódból kilépő elektronok az anód felé gyorsulnak, majd a magas olvadáspontú fémből (gyakran volfrám) készült anódba becsapódva röntgensugárzás jön létre.

Keletkezése szerinte két féle van:

- A **fékezési sugárzást** katódsugárzás elektronjainak lefékeződése során energiájuk egy részét röntgenfotonok formájában kisugározzák, másik része pedig hővé alakul. A sugárzás spektruma folytonos, a rövid hullámhosszú oldalon éles határral.
- A **karakterisztikus sugárzás** úgy jön létre, hogy az anódba becsapódó elég nagy energiájú elektron képes az atom egy az atommaghoz közeli, belső elektronhéjon lévő elektronját kiütni. Az így megüresedő energiaszintű állapotra aztán egy magasabb energiájú elektron kerül, és az átmenet során az energiakülönbségnek megfelelő röntgenfoton emittálódik. A sugárzás spektruma ezért vonalas, a röntgenfotonok energiája pedig az adott atomra jellemző.

Röntgen (1845. Remscheid –1923. München) kapta a legelső fizikai Nobel-díjat 1901-ben ezért a felfedezéséért.

A röntgensugárzás felfedezése

Problémafelvetés: Röntgen 1895. november 8-ról 9-re virradó éjszaka, Lénárd Fülöp és Heinrich Hertz katódsugaras kísérleteinek ismétlése közben figyelt fel arra, hogy az üzemeltetett kisülési cső mellett, fekete kartonpapírban tárolt fényképezőlemezeken előhívásuk után meg nem magyarázható feketedések látszóttak.

Kutatási kérdések: Honnan jön a sugárzás? Miből áll a sugárzás?

1895. november 8-án kísérleteiben Röntgen a kisülési csőben az elektromos kisülést kísérő fényjelenségek kiszűrésére a csövet átlátszatlan fekete kartonpapírba csomagolta, és így próbálta vizsgálni a katódsugár által előidézett fényt. Amikor a szikrainduktort a csőre kapcsolta, meglepődve tapasztalta, hogy a sötét laboratóriumban a cső közelében lévő, bárium-platina-cianiddal bevont papírlemez ernyő fluoreszkálni kezd, azaz fényforrásként viselkedik.

A következő napokban és hetekben éjjel-nappal a laboratóriumában vizsgálta az új sugár tulajdonságait. Kimutatta, hogy a sugárzás a cső egy meghatározott részéből egyenes vonalban lép ki. Megállapította, hogy az új sugárzást – amit első dolgozatában X-sugárnak nevezett el, és több országban ma is így nevezik – az egyes anyagok különböző mértékben nyelik el, a fényhez hasonlóan egyenes vonalban terjed, hatása fotólemezen rögzíthető. Az első képet felesége kezéről mintegy 20 perces expozíciós idővel készítette.

A felfedezés hatalmas feltűnést keltett. Számos fizikusban merült fel a kérdés, hogy a napsugárzás hatására természetes körülmények között világító anyagok is kibocsátanak-e egyúttal efféle sugarakat, ezért intenzíven kezdték el a foszforeszkálás kutatását. A Röntgen által inspirált kutatók egyike — Henri Becquerel — eközben fedezte fel (véletlenül) a radioaktivitást. Az orvostudomány számára pedig napjainkban is elengedhetetlenül fontos eszközzé vált a röntgensugárzás.

Kármán Tódor (1881. Budapest - 1963. Aachen)

Kármán Tódor egy csehországi származású budapesti zsidó család harmadik gyereke volt. Apja, Kármán Mór, a filozófia és a neveléstan neves budapesti egyetemi tanára volt, és nagy tekintélyt szerzett az egyetemi középiskolai tanárképzés gyakorlatának alakításában.

Iskolai oktatása kilencéves korában kezdődött a budapesti mintagimnáziumnak is nevezett Magyar Királyi Tanárképző Intézet Gyakorló-Főgymnasiumában. A budapesti Műegyetemen szerzett diplomát, ahol egy ideig tanársegédként dolgozott, majd a Ganz Rt. mérnöke lett. Göttingenben aerodinamikai tanulmányokat folytatott, itt doktorált.

Fontos eredményeket értek el a kristályok dinamikai elméletében. Kármán a szélcsatorna használatával végrehajtott tanulmányai közben figyelt fel 1911-ben egy váltakozó irányba forgó örvény kialakulására egy lapos akadály mögött, amit róla neveztek el *Kármán-örvénysornak*.

1912-ben egy évig Selmezbányán oktatott, majd elfogadta az aacheni egyetem professzori ajánlatát. Az első világháborúban a Monarchia hadseregében szolgált, előbb ruharaktárosként, majd a Bécs melletti Aerodinamikai Laboratóriumban. Itt fejlesztette ki 1917-ben a világ első *helikopterét*. A háború után hazatért, de 1919-ben már újra Aachenben tanított. 1933-ban véglegesen letelepedett az Egyesült Államokban. Itt részt vett a rakétakutatásokban (Guggenheim-laboratórium).

Kármán alapította meg 1933-ban az Amerikai Egyesült Államok Aeronautikai Tudományának Intézetét (US Institute of Aeronautical Sciences) és kutatást indított a folyékony anyagok mechanikája, a turbulenciaelmélet és a *szuperszonikus repülés* területén, valamint a matematikának a gépészmérnöki, repülőgép-szerkezeti és talajerózió területén való alkalmazásával is.

Az amerikai állam anyagi támogatásával Kármán alapított meg Kaliforniában egy aerodinamikai kísérleti laboratóriumot. Ez az intézet szolgálta az *amerikai űrkutatási* programot is. Fontos szerepet játszott az első *rakéták* kifejlesztésében.

A Budapesti Műszaki Egyetem gyémántdiplomáját a tiszteletbeli doktori címmel együtt 1962-ben kapta meg. A National Medal of Science kitüntetést 81 évesen John F. Kennedy elnöktől vette át.

Szilárd Leó (1898. Budapest – 1964. La Jolla)

Spitz Leó néven született 1898. február 11-én egy középosztálybeli zsidó család első gyermekeként **Budapesten**. A család a nevét Spitzről Szilárdra változtatta 1900-ban.

Szilárd Leó koraérett gyermek volt. Sokat kérdezősködött mind szüleitől, mind általában a felnőttektől. 13 éves korában kezdett el érdeklődni a fizika iránt. 1908-tól 1916-ig a VI. kerületi Reáliskolába járt Budapesten, majd 1917-ben behívták az Osztrák-Magyar Monarchia hadseregébe. Később tisztképzőbe került, de sorozatos influenzás jellegű betegsége miatt tartalékos állományba helyezték, és az első világháború végén leszerelték. A budapesti Királyi József Műegyetemre, a mai Budapesti Műszaki Egyetem elődjébe iratkozott be, de a politikai feszültség, például a zsidótörvények és a megfelelő oktatási lehetőség hiánya miatt 1919-ben, öccsével együtt **Berlinbe** ment, ahol a Friedrich Wilhelm Egyetemen fejezte be tanulmányait. Berlinben ismerkedett meg a korszak vezető német tudosaival, és itt is doktorált Albert Einstein (1879. Ulm – 1955. Princeton), illetve Max von Laue (1879. Pfaffendorf – 1960. Berlin) vezetése alatt 1922-ben. Németországból 1933-ban távozott **Bécsen** keresztül **Londonba**, melynek oka a náci hatalomátvétel volt. Itt szervezte a nácik elől menekülő tudósok elhelyezését.

Nem dolgozott huzamosabb ideig egyetlen laboratóriumban sem, azonban szinte „egyszerre” több fontos helyen is jelen volt. Pontosán ismerte, hol, mit csinálnak, igyekezett a leglényegesebbnek tűnő helyek tevékenységéhez hozzá is szólni. Szinte kizárólag csak szállodákban lakott, órákat töltött a fürdőkádban, ott gondolkodott.

1939-ben már Amerikában **New Yorkban** Albert Einstein-el közösen levelet írt F. D. Rooseveltnek (1882. New York – 1945. Warm Springs), az Egyesült Államok elnökének, amelyben felhívták az elnök figyelmét a meghasadásból kinyerhető energia avatatlan kezekbe kerülő alkalmazásának lehetséges szörnyű hatásaira.

1961-ben "The Voice of the Dolphins and Other Stories" (A delfinek hangja és más történetek) címmel megjelent híres sci-fi novellája, amely a földi élet elpusztíthatóságának témájára épül.

1964-ben **La Jollába** költözött, ahol a Salk Intézetben kezdeményezett új kutatási irányokat, melyeket halála miatt már nem sikerült megvalósítania.

Jelentősebb szabadalmai:

- 1925 mágneses hűtőszekrény Einstein-nel (8),
- 1928 lineáris gyorsító,
- 1929 ciklotron gyorsítás,
- 1934-45 neutron láncreakció, kritikus tömeg, inhomogén reaktor, tenyésztőreaktor,
- 1938 radioaktív sugárzás fertőtlenítő hatása,
- 1951 kemosztát,
- 1955 atomreaktor, Enrico Fermivel (1901. Róma – 1954. Chicago) közös – 1 Dollárért.

Teller Ede (1908. Budapest –2003. Stanford)

Teller Ede a **Budapesten** született 1908. január 15-én. 1925-ben, a „Mintagimnáziumban” (a mai ELTE Trefort Ágoston Gyakorlóiskolában) érettségizett. A matematika iránt érdeklődött, de édesapja azt tanácsolta neki, hogy praktikusabb irányt válasszon, így állapotok meg a vegyészmérnökségben. Szilárd Leóhoz hasonlóan ő is beiratkozott a budapesti Királyi József Műegyetemre. 1926. január 2-án engedélyt kapott rá, elhagyta az országot és Németországba

Karlsruhéba ment, ahol kémiát és matematikát tanult. Itt hallott először a kvantummechanikáról, melynek hatására a fizika kezdte elsősorban érdekelni. 1928 tavaszán **Münchenben**, őszén már **Lipcsében** tanult, ahol Werner Heisenberg (1901. Würzburg – 1976. München) volt a professzora. Nála írta meg doktori értekezését az *ionizált hidrogénmolekula gerjesztett állapotairól* címmel, amit 1930-ban védett meg. Ezt követően **Göttingába** majd **Rómába** ment, ahol megismerte Enrico Fermi kísérleteit, majd **Koppenhágában** Niels Bohr (1885. Koppenhága – 1962. Koppenhága) mellett dolgozott.

Rövid **londoni** tartózkodás után, 1935-ben az Amerikai Egyesült Államokba emigrált, ahol a George Washington Egyetemen tanított **Washingtonban**. Ekkoriban sok európai tudóst hívtak meg tanítani az Amerikai Egyesült Államokba. Teller figyelmét George Gamow (1904. Odessza – 1968. Colorado) a terelte a magfizika felé és 1938-ban együtt dolgozzák ki a termonukleáris fúzió elméletét.

1942-ben csatlakozott a Manhattan Project-en dolgozó tudóstársaihoz.

1949-ben a Szovjetunió végrehajtotta első kísérleti atomrobbantását. Truman elnök ezek után elrendelte a termonukleáris kutatások folytatását és a *hidrogénbomba* kifejlesztését. **Los Alamosban** immáron Teller Ede vezetésével indult meg újra a kutatómunka.

1947-től elnöke lett az úgynevezett Reaktorbiztonsági Bizottságnak. Felismerte az urán-grafit-víz típusú reaktorok veszélyes voltát, és ezeket a konstrukciókat sikerült leállíttatnia az USA-ban. De a Szovjetunióban erről a hidegháború miatt nem tudtak, így függetlenül fejlesztettek ki ilyen típust, mint amilyen például később a csernobili erőmű lett. Az erőmű balesetét többek között éppen a Teller által jelzett probléma volta okozta.

Az 1970-es években az amerikai kormány nukleáris fegyverkezési tanácsadója lett. 1975-ben nyugdíjba vonult. 1982-ben Ő javasolta Ronald Reagan (1911. Tampico, - 2004. Los Angeles) elnöknek a *csillagháborús* tervként is emlegetett stratégiai védelmi kezdeményezést, vagyis egy védekező rendszer kialakítását a szovjet atomrakéták esetleges támadása ellen. 1990-től lett a Magyar Tudományos Akadémia tiszteletbeli tagja, 1991-től a BME tiszteletbeli doktora. 1994-ben a Magyar Köztársasági Érdemrendet vette át Göncz Árpád (1922. Budapest – 2015. Budapest) köztársasági elnöktől. 2001-ben elsőként neki ítélték oda az újra bevezetett Corvin-lánc kitüntetését. 2003-ban életének 95. évében elhunyt **Stanfordban**, Kaliforniában.

Wigner Jenő (1902. Budapest –1995. Princeton)

Wigner Jenő 1902. november 17-én született **Budapesten** jómódú zsidó család második gyermekeként. 1912-1920 között a Budapesti Fasori Evangélikus Gimnázium tanulója volt. Tanárai Rátz László (1863. Sopron – 1930. Budapest) és Mikola Sándor (1871. Felsőpetróc – 1945. Nagykanizsa). Édesapja kívánságára a Budapesti Műszaki Egyetem vegyészmérnöki karára iratkozott be, ahol egy félévet végzett el. 1921-1924 a **berlini** Technische Hochschule-n folytatta vegyészmérnöki tanulmányait. Itt állandó résztvevője volt a Német Fizikai Társaság fizikai kollokviumainak, ahol a korszak legjelentősebb fizikusai jelentek meg és tartottak előadásokat. Itt ismerkedett meg többek között Albert Einsteinnel, de az összejöveteleken rendszeresen részt vett Szilárd Leó is. 1925-ben vegyészmérnöki doktori oklevelet szerzett Berlinben. Témavezetője Polányi Mihály (1891. Budapest - 1976. Northampton). Címe: *Molekulák képződése és szétesése*. 1925-1926 között a Mauthner Börgyárban dolgozott vegyészmérnökként, majd Németországba ment. Berlinben ismét találkozott az atomfizika másik magyar géniuszával, Szilárd Leóval, akihez azután egész életét végig kísérő szoros barátság fűzte. Az 1963-as fizikai Nobel-díjat Wigner Jenő kapta (megosztva Maria Goeppert Mayerrel (1906. Katowice – 1972. San Diego) és Johannes Hans

Daniel Janssen (1907. Hamburg – 1973. Heidelberg) "az atommagok és az elemi részek elmélete terén, különösen pedig az alapvető szimmetriaelvek felfedezésével és alkalmazásával elért eredményeiért" indoklással.

Alapvető felfedezései:

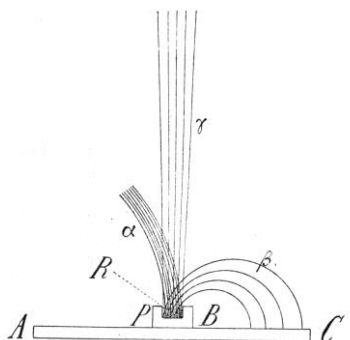
- a *barionszám megmaradása*, miszerint a neutron átalakulhat protonná és viszont, de ezek nem eshetnek szét könnyebb részecskékre,
- a nukleonok közti *rövid kölcsönhatás* az atommag belsejében, mely megmagyarázza, hogy miért nő meg jelentősen a kötési energia értéke, amikor a két részecskéből felépülő deutériumról a 4-es tömegszámú héliumra térünk át,
- a *mágikus számok* léte, mely azt jelenti, hogy bizonyos atommagok sokkal stabilabbak, mint a többi. Egyes proton-, illetve neutronsámok, mint 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, ki vannak tüntetve. Ezek a magok gyakoribbak.
- A világ első *reaktormérnökeként* tartják számon. Ő tervezte az első vízhűtéses atomreaktorokat, majd a reaktorok biztonsága érdekében ő ajánlotta, hogy a neutronok lassítására szintén vizet alkalmazzanak. Ma ezen az elven működik a világ atomerőműveinek 90%-a.

1971-ben vonult nyugdíjba, de ezután is vállalt előadásokat különböző USA-beli és más egyetemeken. Az 1970-80-as években többször hazalátogatott. 1983-ban felkereste a Paksi Atomerőművet is, melynek működésével nagyon elégedet volt. 1987-ben odaitélték számára az ELTE tiszteletbeli doktori címét, a Parlamentben pedig átvette a Magyar Köztársaság Zászlórendjét. 1988-ban a Magyar Tudományos Akadémia tiszteletbeli tagjává választotta. 1995 újév napján halt meg.

Radioaktivitás, az atomenergia alkalmazása

A természetben szép számmal megtalálható instabil, radioaktív atommagok α -, β - és γ -sugárzást, vagy ezeket valamelyikét bocsájtják ki. Az α részecske hélium atommag, pontosabban 4-es tömegszámú izotóp, mely két protonból és két neutronból áll. A β elektronokat, vagy mesterséges izotópok esetében pozitronokat jelent, a γ pedig elektromágneses sugárzás. Az ólomnál nagyobb rendszámú atommagok *radioaktív családokba* (4 család) rendezhetők. De mesterségesen szinte minden elem többféle izotópját állították már elő. Ezek szerepe óriási az orvostudományban mind diagnosztikai, mind pedig terápiás felhasználásuk. továbbá sok ipari berendezés részét képezik.

A mágneses tulajdonság tanítása során Marie Curie doktori értekezésében szereplő ábrát, vagy ahhoz nagyon hasonlót, szokták bemutatni a témával foglalkozó tankönyvekben. A leírás szerint az ABC fényképezőlemezre az R rádiumot egy ólomtömbbe P vajt kis mélyedésbe elhelyezve és annak környezetében erős homogén mágneses teret létesítve, mely a rajz síkjára merőleges, a preparátumból kiinduló sugarak különválnak.



A mágneses mező hatása a radioaktív sugárzásra.

A mágneses mezőbe az indukcióvonalakra merőlegesen érkező töltött testek (a β - és az α -részecskék) körpályán, illetve körív mentén, mozognak a Lorentz erő hatására, amíg el nem vesztik energiájukat az ionizáló hatásuk következtében.

Marie Curie dolgozatában utalt arra is, hogy míg az α -részecskék energiája meghatározott érték. Az ábrájából szépen látszik, hogy koncentrikus köríveket rajzolt, melyeknek meghatározott vége van, és nem túl nagy mértékű az eltérülés. A β -részecskék esetében azonban ez közel sincs így. Ezt jelzi az ábrán is, hiszen a β -sugarak mágneses mezőben való eltérülésének érzékeltetésére több különböző sugarú körívet rajzolt, továbbá nagyobb mértékű az eltérülés. Az eltérülés mértékének különbözősége a két részecske tömegkülönbsége miatt van. A nagyobb tömeg nagyobb tehetetlenséget jelent, tehát a mező kevésbé képes azt, esetünkben az α -részecskék, eltéríteni.

A β -részecskék esetében pedig meg is jegyezte Marie Curie, hogy ez olyan, mint egy folytonos spektrum, nem meghatározott energiájú részecskék keletkeznek, nem az atomi szinképekhez hasonló diszkrét energia jelenik meg. Csak évtizedekkel később fedezték fel a neutrínót, mely a kibocsátás folyamatában együtt keletkezik az elektronnal, vagy a pozitronnal, és a két részecske osztozik a teljes energián. Tehát az ábra rendkívül jól jellemzi a radioaktív sugarak útját a mágneses mezőben mai szemmel is!

Az atomenergia felhasználására kétféle módot ismert meg az emberiség, az atombombát és az atomerőműveket. Ezek kifejlesztése gyakorlatilag egyszerre történt.¹⁶

A legfontosabb felismerések a következők voltak:

- maghasadás,
- láncreakció, kritikus tömeg,
- atommagok fúziója.

Maghasadás

Problémák: A neutron 1932-es felfedezését követően új eszközt kaptak az atommaggal foglalkozó kutatók. A neutron semleges töltésű lévén könnyebben be tud hatolni az atommagba, mint a korábban alkalmazott, töltéssel rendelkező protonok, illetve alfa

¹⁶ Horváth András – Radnóti Katalin (2017): 75 éve lett kritikus a chicagói reaktor, 115 éve született Wigner Jenő. in. *Fizikai Szemle*. LXVII. évfolyam. 2017/12. szám. 421-429. oldalak

<http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/41>

Radnóti Katalin (2018): Két magyar marslakó: Szilárd Leó és Teller Ede. in. *Fizikai Szemle*. LXVIII. évfolyam. 2018/9. szám. 308-314. oldalak

<http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/33>

részecskék, hiszen nem lép fel taszítás. Enrico Fermi 1934-ben, majd később 1938-ban Irene Curie is furcsa termékeket talált az urán atommagok neutronnal történő bombázása során. Otto Hahn (1879. Frankfurt - 1968. Göttingen) német vegyész úgy döntött, hogy megvizsgálja ezeket a termékeket.

Kutatási kérdés: Milyen termékek keletkeztek az urán atommagok neutronnal történő bombázása során és milyen mechanizmusról lehet szó?

Otto Hahn vizsgálatai során több hasadási terméket azonosított, mint bárium, kripton, stroncium. A mechanizmust, hogy ténylegesen az atommag elhasadásáról van szó, Lise Meitner (1878. Bécs - 1968. Cambridge) osztrák fizikus tisztázta.

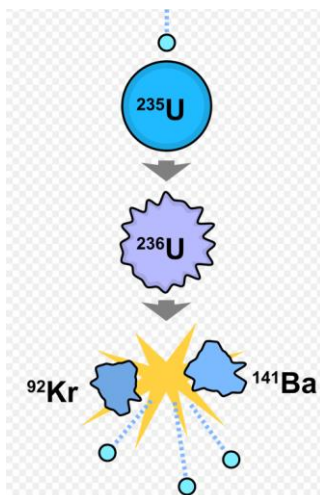
Láncreakció, kritikus tömeg

Problémák: Szilárd Leó 1934-ben Londonban egy sétája közben pusztán gondolati úton arra a következtetésre jutott, hogyha lenne olyan atommag, mely egy neutron befogását követően két neutron tudna kibocsátani valamilyen folyamat következtében, akkor ez mintegy láncszerűen további hasonló folyamatot tudna előidézni. Meg is próbált ilyet keresni, de nem talált. 1939-ben New Yorkban Bohr egy konferencián beszámol a Hahn által felfedezett maghasadásról. Ekkor Szilárd Leóban ismét előkerül a már elvetett gondolat, hogy mégiscsak lehetséges a láncreakció.

Kutatási kérdés: A maghasadás során hány neutron keletkezik? Azok képesek-e további hasadási folyamatot előidézni?

A maghasadás hírének és a láncreakció lehetőségének hallatán több laboratóriumban is megállapítják, hogy igen, az urán hasadása során több neutron is keletkezik. Tehát a láncreakció megvalósítható. A hasadást ténylegesen csak az urán 235-ös tömegszámú izotópja produkálja. Szilárd elméleti úton rájön, hogy a tényleges láncreakcióhoz még szükséges egy úgynevezett kritikus térfogat, illetve tömeg, hogy a keletkező neutronok ne szökjenek meg a felületen, maradjon annyi a fémtömbben, hogy a reakciólánc fent tudjon maradni.

A láncreakció létének bizonyítására megépítették Chicago-ban az első atomreaktort, majd elindult a Manhattan projekt, melynek során elkészülnek az első atombombák. Ezek közül kettőt Japánra le is dobtak a 2. világháború végén. Majd elkezdődik a fegyverkezési verseny, illetve a nukleáris energia polgári célú alkalmazási lehetőségeiként az atomerőművek kifejlesztése. Jelenleg több, mint 400 atomerőművi blokk üzemel a Földön, és több van tervezés alatt. Ezek alkalmazásának nagy előnye, hogy működése során nem keletkezik széndioxid, továbbá egységnyi tömegű fűtőelemből nagyságrendekkel több energia nyerhető ki, mint a kémiai reakciókkal.



https://hu.wikipedia.org/wiki/Nukleáris_fegyver#/media/File:Nuclear_fission.svg

Atommagok fúziója

Problémák: Teller Chicagóban dolgozott Fermi mellett az első atomreaktor megépítésén. Itt mondta el neki Fermi azt az ötletét, hogy az atombombával akár termonukleáris fúziót lehetne beindítani. Teller ezután kezdett gondolkodni a hidrogénbombán, mely a könnyű magok fúzióján alapulna.

Kutatási kérdés: El lehet-e érni földi körülmények között, és miként, hogy a könnyű atommagok, mint a deutérium, a trícium, legyőzve az elektromos taszítást, olyan közel kerüljenek egymáshoz, hogy a rövid hatótávolságú nukleáris vonzás miatt egyesüljenek?



1952-ben végrehajtották az első sikeres hidrogénbomba-kísérletet. Tehát működött a fúzió. Ellenben energiatermelési célra a mai napig nem tudjuk még használni a folyamatot. Többféle próbálkozás van erre, jelenleg mintegy 30 kísérleti berendezés üzemel, kísérleti reaktor is épül, de a problémát az elkövetkezendő generációnak kell megoldania.

Gábor Dénes (1900. Budapest –1979. London)

A **Terézvárosban** született, zsidó családban. Édesapja, Günszberg Bernát a Magyar Általános Kőszénbánya Részvénytársaságnál (MÁK Rt.) dolgozott. Édesanyja Jakobovits Adél. A szülők 1899-ben kötöttek házasságot, s három fiú gyermekük született, Dénes volt az első. Az apa 1902. március 8-án fiaival együtt engedélyt kapott, hogy családnevüket „Gábor”-ra változtassák.

A Magyar királyi József nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem kezdte meg gépészmérnöki tanulmányait, melyet **Berlinben** fejezett be. Itt rendszeresen látogatta Albert Einstein szemináriumát, mely Szilárd Leó kezdeményezésére jött létre, és aki az előadásokra meghívta Wigner Jenőt, Neumann Jánost és Gábor Dénest is. Doktori disszertációját a katódsugár oszcillográf érzékenységét növelő találmányára alapozta, majd az Egyesült Izzónál vállalt kutatói, fejlesztői, tanácsadói munkát.

A harmincas évek második felében már **Angliában** dolgozott a plazmalámpán, a háború alatt az Anglia fölé berepülő ellenséges gépek felderítésén, a háború után pedig az

elektronmikroszkóp leképezésének javításán. Ennek során ismerte fel a holográfia elvét, amit látható fényre csak a lézerek kifejlesztése után lehetett eredményesen alkalmazni. Ezért kapta meg csak 1971-ben az 1948-as találmányáért megérdemelt Nobel-díjat.

1962-ben látogatott haza Magyarországra. 1964-től volt az MTA tiszteleti tagja. 1979. február 9-én hunyt el Londonban. Nevét több oktatási intézmény is viseli.

Probléma: A közönséges fényképezési eljárásoknak van egy alapvető tökéletlensége, mégpedig az, hogy a térbeli tárgyakat síkban rögzíti. A térbeliség azért vesz el, mivel a fényképezőlemezen csak a fényhullám intenzitását rögzítjük, de egy másik, fény által kialakított hullámtérnek a jellemzője, a hullámok egymás közötti fázisviszonyait nem.

Kutatási kérdés: Lehet-e valamilyen módon rögzíteni a tárgy által visszavert fény, a tárgy képét az agyunkban létrehozó tárgyhullám fázisviszonyait?

A Gábor Dénes által kidolgozott módszer neve holográfia (holográf = teljes kép). A tárgyról kiinduló tárgyhullám fázisát a fényhullám interferenciája révén lehet úgy rögzíteni, hogy azt egy egyszerű hullámmal, az úgynevezett referenciahullámmal interferáltatjuk. Ha az ekkor létrejövő interferenciaképet fényérzékeny lemezen rögzítjük, akkor kapjuk a hologramot. A megfeketedett helyeken a két hullám azonos fázisban találkozott (hullámhegy hullámhegygel), és ezért erősítették egymást. Az átlátszó helyeken viszont ellentétes fázisban találkoztak, ezért itt kioltották egymást. Vagyis a tárgyhullámról minden információt lehet így rögzíteni (a fényhullám amplitúdója, amely arányos az intenzitással és a fázis) az interferenciacsíkok feketedésének erősségében és egymástól való távolságában. A tárgyhullámot mintegy "befagyasztottuk" ebbe a csíkrendszerbe.

Hogyan lehet életre kelteni ezt a megdermedt tárgyhullámot?

A visszaállításnál (rekonstrukciónál) a fényelhajlás jelenségét használjuk ki. A kapott hologram által alkotott csíkrendszer hasonlatos az optikai rácshoz. Ez szabályos csíkok sorozatából áll. Egy bonyolult tárgyról készített hologram viszont szabálytalan alakú csíkok összessége. A rekonstrukciónál e csík sorozaton elhajlik a megvilágító fény, mégpedig oly módon, hogy az elhajlított hullámban mintegy "életre kel" a hologramban rögzített tárgyhullám. Ez a rekonstruált tárgyhullám mindenben azonos az eredetivel, mintha a tárgy ténylegesen ott lenne.

A térbeliségen kívül még sok egyéb tulajdonsága van a hologramban: pl. az, hogy a tárgyhullám nemcsak az egész lemezen, hanem bármekkora részén is rögzítődik. Ha tehát eltörjük a hologramot, az egyes töredékekből is ugyanaz a tárgyhullám rekonstruálódik. Az egyetlen változás az, hogy minél kisebb a töredék hologram mérete, annál gyengébb a kép minősége.

A hologram felvételét csak teljesen szabályos fényhullámokkal lehet elvégezni. Ilyen fényforrások a lézerek. A rekonstrukcióhoz már nem minden esetben van szükség lézerre, megfelelő a közönséges fehér fény is.

A holográfiának számos gyakorlati alkalmazása van. Az egyik a holografikus alakváltozás-vizsgálat. Egy tetszésszerű tárgyról (autógumiról, tartógerendáról, kazánról stb.) elkészítjük a hologramot, majd a tárgyon kis alakváltozást hozunk létre. Ez után ugyanarra a lemezre elkészítjük a deformált test hologramját. Előhívás után a kettős hologramot megvilágítva mindkét tárgy(hullám) egyszerre rekonstruálódik. E két hullám interferál egymással, s a szemlélő a kis alakváltozást interferenciacsíkok formájában észleli. Ily módon vizsgálható a gerendák stb. terhelés alatti deformációja.

A hologramok legelterjedtebb alkalmazási formájával, a biztonsági azonosító jelekkel mindenki találkozhat a kazettákon, CD-ken, az új papírpénzekon, bankkártyákon. Ezek az

apró kis hologramok (szinte) hamisíthatatlanok, mert róluk tökéletes másolatot csak az eredeti hologram segítségével lehet készíteni.

Lézer

A lézerek felhasználási területe igen széles. A tudományos kutatás, az ipari, orvosi alkalmazás mellett megjelentek a művészetben is.

A lézer egy különleges fényforrás, amelynek tulajdonságai jelentős mértékben eltérnek a többi fényforrástól. A lézerfény jellemzői a következők:

- **egyirányú**, keskeny sugárnyaláiban koncentrált, széttartása (divergenciája) kicsi;
- **nagy intenzitású**, közönséges fényforrásokkal ilyen nagy fényerősségű, egyszínű, keskeny sugárnyalábot nem tudunk előállítani;
- **egyszínű** (monokromatikus)
- **koherens** hullámokat bocsát ki (azonos fázisú hullámok, tartós interferencia hozható létre).

A lézerben a koherens, azonos fázisú hullámok **indukált kibocsátás** útján keletkeznek.

Az atomi rendszerekben fény hatására az elektronok rezegni kezdenek (kényszerrezgés). Az így kialakult rezgő rendszerek sugározni fognak, mivel az elektron mozgása miatt változik az elektromos mező, ami mágneses mezőt hoz létre és így tovább, és ez változás leszakad a forrásról. Így terjed az átlátszó anyagokban a fény. Ha rezgés közben az elektron valamelyik, az alapállapothoz magasabb energiájú, az állóhullám-feltételnek megfelelő megengedett állapotba kerülhet, akkor elnyeli a sugárzást. Ez az **abszorpció**. Az újdonság az, hogy a gerjesztett állapotú atom hasonló, "kényszerrezgés-mechanizmussal" fény hatására energiát is veszíthet, ha így valamelyik, az állóhullám-feltételnek megfelelő megengedett állapotba kerül, melyre először Einstein mutatott rá 1916-ban. Az első lézert azonban csak 1960-ban építették meg.

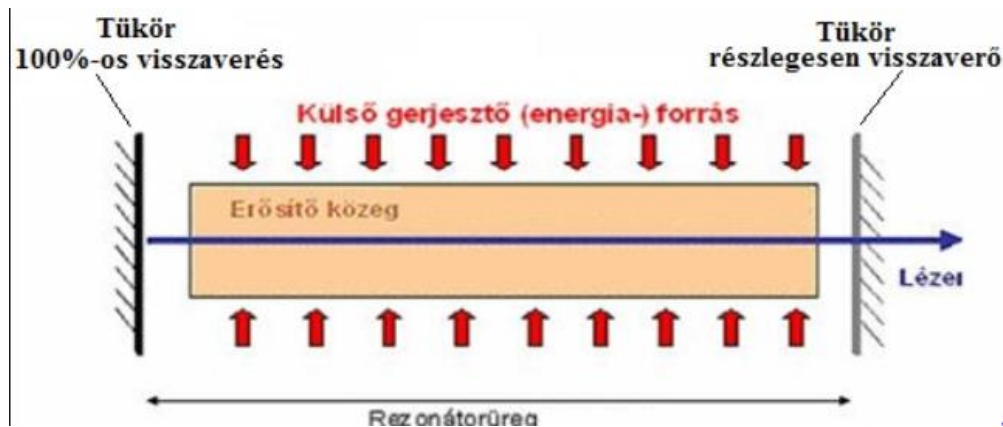
Ha a gerjesztett állapotban lévő atom pontosan ugyanolyan frekvenciájú, fázisú, polarizációs állapotú fotont sugároz ki, mint az atommal kölcsönhatásba lépő foton, akkor **indukált emisszió**ról beszélünk. Ebben az esetben tehát egy fotonból két foton lesz, vagyis **fényerősítés** lép fel. A lézerműködés legfontosabb feltétele az, hogy a kölcsönhatásban a fotonok száma növekedjen, vagyis fényerősítés lépjen fel.

Folyamatos fényerősítés az anyagnak egy meglehetősen különös állapotában érhető csak el. Ugyanis az atomok jelentős részének gerjesztett, méghozzá meghatározott gerjesztett állapotban kell lennie. Az atomok olyan eloszlását, amikor valamely gerjesztett állapotban az atomok térfogat-egységenkénti száma nagyobb, mint egy másik, kisebb energiájú állapotban, amely nem feltétlenül az alapállapot, **inverz populáció**nak, magyarul fordított betöltésnek nevezzük.

Ahhoz, hogy lézerjelenség jöhessen létre, az **indukált emisszió** és a fényerősítés lehetőségének a megteremtésén kívül létre kell hozni egy olyan optikai elrendezést is, amellyel a nagyszámú gerjesztett atomot úgy tudjuk sugárzásra kényszeríteni, hogy a rendszerből kijövő fény egyszínű, rendezett (koherens), nagy intenzitású és keskeny fénynyaláb legyen. Ezért az ábrán látható elrendezést használják.

A felerősödött fényt tükrök segítségével visszavezetik a lézeranyagba, amely az inverz populáció állapotában lévő anyag, ahol az tovább erősödik. Ez az elrendezés a **lézerezonátor**. A rezonátor egyik tükré részben áteresztő, ezen lép ki a lézerfény. Továbbá a tükrök csak a merőlegesen beeső fényt verik úgy vissza, hogy az ténylegesen erősödni tud

áthaladva ismét a lézeryagon. A többi végül is kiszóródik, elhagyja a rendszert, nem erősödik fel.



https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0007_11-Szerelés_es_karosszeriagyartas-3/2_lecke_a_lzersugaras_hegeszts.scorm1

Lézeryagként bármilyen halmazállapotú anyag használható. Ha gáz, akkor a gerjesztés módja elektromos kisülés, ha szilárd vagy folyékony, akkor a pumpáláshoz, aminek során létrejön az inverz populáció, villanófényt használnak.

Lézerátmenete nagyon sok anyagnak van, ezért a legkülönbözőbb színű, energiájú lézertípusokat lehet előállítani. Az egyik közismert típus a hélium-neon lézer, ahol az aktív anyag a neon, a hélium csak az inverz populáció létrehozásához szükséges. Több hullámhosszon is működhet, 1150 nm, 3390 nm és 632,8 nm-en. Ez utóbbi piros színű, demonstrációs kísérletekhez, különböző lézeres bemutatókon ezt használják. Az argonlézerek szintén több lézerátmenete van a kék és a zöld tartományban, lézertípusok és orvosi gyakorlatban használatos. A harmadik közismert típus a széndioxid lézer, amely az infravörös tartományban működik, melyet használnak vágásra, hegesztésre, de az orvosi gyakorlatban is „kés” helyett. A CD lejátszóknak és a lézere „mutató pálcában” mm-es méretű félvezető lézert alkalmaznak.

Az űrkutatás történetének legfontosabb eredményei

Az űrkutatás a földi légkörön túli környezetnek a világűrbe juttatott eszközökkel történő kutatásával foglalkozó tudomány.

A német V-2 rakéták voltak az első szerkezetek, amelyek eljutottak a világűrbe. A második világháború után ezt a technológiát és a szakembereket az Amerikai Egyesült Államok és Szovjetunió szerezte meg. Ezután indult meg a két fél között a fegyverkezési verseny nukleáris fegyvereket szállító interkontinentális ballisztikus rakéták fejlesztésében.

A világ legnagyobb, űrkutatással foglalkozó szervezetei az amerikai NASA, az Európai Űrügynökség (ESA) és az orosz űrügynökség, a Roszkoszmosz (RKA).

Fontosabb dátumok, események:

1957. Az első ember készítette műhold az űrben: Szputnyik-1;

1961. Az első ember az űrben: Jurij Gagarin ;

1969. Az első ember a Hold felszínén: Neil Armstrong. A Hold jelenleg az egyetlen földönkívüli égitest, melyen járt ember.

1971. április 19. Az első szovjet űrállomás, a Szojuz 1 indítása.
 1973. május 14. Az Amerikai Egyesült Államok a világűrbe juttatja Skylab űrlaboratóriumát.
 1975. július 17. Míg a Földön a hidegháború az űr, az űrben nagy az egyetértés: összekapcsolódik egy amerikai Apollo és egy szovjet Szojuz kabinja.
 1975. október 22. Sikeres landolást követően a szovjet Venyera 9 első ízben továbbít képeket a Vénusz felszínéről.
 1976. július 20. - szeptember 3. Az amerikai Viking 1 és Viking 2 űrszondák sikeres leszállást hajtanak végre a Marson.
 1977. szeptember 5. Útnak indul a Voyager 1 naprendszerünk határai felé. Az űrszonda egy aranybevonatú rézlemezt is szállít (Voyager Golden Record), amely az emberiségről tárol képi és hanginformációkat.
 1981. április 12. Magasba emelkedik az első űrrepülőgép (Space Shuttle), a Columbia.
 2001. április 28. Az amerikai egyesült államokbeli Dennis Tito (szül. 1940) személyében első ízben vesz részt "űrturista" is a Nemzetközi Űrállomásra induló egyik küldetésben
 2004. január 25. Megérkezik a Marsra az amerikai Opportunity robotjármű és képeket továbbít a Vörös Bolygó felszínéről a Földre.
 2009. március 7. A Kepler űrtávcső 95 megapixelés digitális kamerájával mintegy három éven át földtípusú bolygók után kutat a Tejútrendszerben.¹⁷

Műholdak rendszere veszi körül a Földet, mint

- időjárási,
- GPS,
- távközlési.

Nemzetközi űrállomások folyamatos jelenléte Föld körüli pályákon.

Az űrtávcsöveknek nagy felbontóképességének köszönhetően kitágult az Univerzum. Több milliárd galaxisról van tudomásunk, melyek milliárdnyi csillagot tartalmaznak, és még több exobolygót.

Néhány felhasznált és ajánlott irodalom:

Gamov, George: *A fizika története*. Gondolat Kiadó. Budapest. 1965.
 Max von Laue: *A fizika története*. Gondolat Kiadó. Budapest. 1960.
 Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó. Budapest. 1978.
 Szabadváry Ferenc (1968): *Lavoisier és kora*. Gondolat Könyvkiadó. Budapest.
 Szegedi Péter: *Fizikatörténeti szöveggyűjtemény*. 2013.06.25
 Zemplén Jolán – Szabadváry Ferenc – Kontra György: *A kísérletezés úttörői a XIX. században*. Gondolat Kiadó. Budapest. 1963.

KFKI honlap: <http://tudtor.kfki.hu/>

História - Tudósnaptár: <http://tudosnaphtar.kfki.hu/historia/index.php>

¹⁷ <https://www.audi.hu/elmenyvilag/audi-mission-to-the-moon/az-urkutatas-toertenete>
<http://www.zmgzeg.sulinet.hu/csillag/urtort/kutat.pdf>

