

## A fizikatörténet vázlata

Lovas István

1999

**A történelem** a fontos események,  
a fontos emberek,  
a fontos folyamatok és  
a fontos összefüggések felkutatásának és időbeli rendezésének  
tudománya.

A **fizika** szó a görög 'természet' szóból ered. Az Arisztotelésztől származó elnevezés az ókorban az anyagi világról való minden tudományos ismeret összességét jelentette, beleértve akár az élettelen anyagra, az élőlényekre, az emberi testre vagy akár a csillagokra vonatkozó megfigyeléseket. Az újkorban a növekvő ismeretanyag következtében az általános érvényű természetfilozófiából egyes ágak, mint a kémia, a csillagászat, az orvostudomány, a biológia, a geológia, vagy a műszaki tudományok, fokozatosan kiváltak, önálló szaktudományokká alakultak. A fizika egyre inkább csak az élettelen anyagi világ tudományát jelentette. Mindazonáltal egyrészt a fizika megőrzött számos, a többi tudományággal közös interdiszciplináris területet (asztrofizika, geofizika, biofizika, fizikai kémia, elektrofizika, stb.), másrészt a fizika tárgykörei (mechanika, hőtan, optika, elektromágnesség, atomfizika, magfizika, részecskefizika, szilárdtestfizika) maguk is közel jutottak ahhoz, hogy szinte önálló tudományágakká váljanak. Mai értelmezés szerint a fizika az anyagi világ legáltalánosabb tulajdonságainak a tudománya. A kutatás módszere szerint kísérleti-, elméleti-, és alkalmazott fizikát szoktak megkülönböztetni. Újabban a kísérlet és az elmélet mellé felzárkózott a számítógépes szimuláció. A fizikai kutatás módszertanának gyökerei a 16-17 századba, elsősorban Galilei munkásságára nyúlnak vissza. Ennek jellemzője a kísérletezés, a kísérleti eredmények matematikai általánosítása és az elméletalkotás együttese.

A valóság megismerésének eszközei: a tudomány és a művészet.

A tudomány alapvető módszere: a differenciálás és az analízis.

**Filozófia**

**Matematika**

**Természettudományok** : Fizika, Csillagászat, Kémia, Biológia, Geológia, Orvostudomány, Agrártudományok, Műszaki tudományok ...

**Humántudományok**: Nyelvtudomány, Jogtudomány, Történettudomány, Gazdaságtan, Lélektan, Hittudomány, ...

A művészet alapvető módszere: az egész megragadása, az integrálás, a szintézis.

A **művészetek**: Irodalom, Zene, Festészet, Építészet, Szobrászat, Színművészet, Filmművészet,...

A fizika összehasonlítása a matematikával:

A fizikai fogalmakat mérési utasítással definiáljuk. Ezért a matematikában szabadon szárnyaló fantázia itt a "földhöz van kötve". Az intuíció azonban itt is nélkülözhetetlen. A fizika törvényi sehonnan sem vezethetők le, rájuk csak a természeti jelenségek megfigyelése útján következtehetünk. A matematikai tökéletességre csak a már megismert, ellenőrzött törvények esetén kell törekedni. A fizikai törvény igazságának sem, nem szükséges, sem nem elégséges feltétele a matematikai ekzaktság.

A fizika összehasonlítása a többi természettudománnyal:

A legmesszebbre jutott a matematikai megfogalmazhatóság tekintetében. Fogalmait mérési utasításokkal definiálja, ezért a fizikai törvényekben szereplő fogalmak per definicionem mennyiségi jellegűek. A fizika kihagyhatja és ki is hagyja a zavaró részleteket. A valóságot nem a teljesség szándékával akarja megragadni, hanem csak leegyszerűsített formában, a valóságot voltaképcsak modellezi.

A fizika összehasonlítása a művészetekkel:

A fizika nem szándékozik a valóságot a maga teljességében megragadni. Nem a teljes valóságot akarja visszatükrözni, mint egész, hanem csak a kvantitativ megragadható részét.

A fizikai törvények elegáns matematikai megfogalmazása hordozhat esztétikai tartalmat. Wigner Jenő szerint ez azért van, mert a valóságnak három szintje van.

Az első szinten vannak a kaotikusnak látszó valóság véletlenszerű eseményei.

A második szinten vannak a természettörvények, amelyek "rendet tesznek" a valóság rendetlennek látszó eseményei között.

A harmadik szinten vannak a szimmetria törvények, amelyek "rendet tesznek" a természettörvények világában.

A természetörvényekben megmutatkozó szimmetriák azok, amelyek esztétikai értékeket is hordozhatnak.

## **I. A fizika előtörténete.**

Őskor, Ókor, Középkor

A történelemelőtti időkben, majd az ókori birodalmakban, Egyiptomban, Kínában, Mezopotámiában számos, a természetre vonatkozó tapasztalati ismeret halmozódott

fel, amelyek azonban többnyire csak mágikus magyarázatot kaptak. Az ismeretek gyakorlati alkalmazását és bővítését elősegítették a folyami kultúrák mezőgazdaságának igényei, a nagy építkezések és a kereskedelem követelményei. Egyiptomban, főleg pedig Mezopotámiában különösen magas fejlettségig jutott el a csillagászat (a bolygók pályáinak ismerete, az állócsillagokhoz rögzített állatöv fogalma).

## Folyami kultúrák

Földmérés, naptár készítés, időmérés, területmérés, szögmérés, súlymérés, holdfogyatkozás, napfogyatkozás.

1. Mezopotámia (Tigris és Eufrátesz)  
Agyagtáblába véset algoritmus a négyzetgyökvonásra: ha  $S = a * 2$ , akkor az  $a', a'' = (a' + S/a')/2, \dots$ , sorozat minden pozitív  $a'$ -re tart  $a$ -hoz.
2. Egyiptom (Nilus)  
Napisten. Kiemelkedően fontos a csillagászat. A földmérés, azaz a geometria tudománya gyakorlati szükségletből fakadt.
3. India (Indus)
4. Kína (Sárga folyó)

Kr.e. IV. évezredben megjelenik a réz, majd a III.-ban a bronz és a II.-ban a vas.

## Görögök

Az ókori görög természetfilozófusok voltak azok, akik már racionális, bár még mindig spekulatív jellegű értelmezést kívántak adni az általuk átvett mezopotámiai, egyiptomi ismeretanyagnak, vagy saját megfigyeléseiknek. Felvetettek számos olyan gondolatot, ami valamilyen formában irányt mutatott az utánuk következő kétezzer év gondolkodóinak.

Igy kialakultak az anyag mibenlétére és szerkezetére vonatkozó elképzelések ("ősanyag", "őselem" elméletek: Thálész, Hérakleitosz, Anaximandrosz, Pláton; az anyag atomosságának hipotézise: Demokritosz). Megszülettek a Földre, a Naprendszerre, a Világegyetemre vonatkozó első, átfogó elméletek. Felvetődött a gömbalakú Föld gondolata (pithagoreusok, Pláton, Eudoxosz), sőt a földátmérőt méréssel is meghatározták (Erathoszténész). Egyaránt felmerült a heliocentrikus- (számoszi Arisztarkhosz) és a geocentrikus- (Ptolemaiosz) világmép. Ptolemaiosznak a Naprendszer mozgásaira vonatkozó táblázatai (bolygók helyzete, nap- és holdfogyatkozások) egészen a 17-18.századig (Kepler és Newton koráig) voltak széleskörű használatban.

## Homerosz (Kr. e. 800)

Iliász, Odüsszeia

**Thalesz** (Kr. e. 640-546) Milétosz  
Geometria. Thalesz tétel. (Falesz Mihály)

**Pitagorasz** (Kr.e. 580-? ) Kroton

Az első, matematikai formában kifejezett, természettörvény: harmonikus hangokat ad az a két húr, amelyek hosszúsága úgy aránylik egymáshoz, mint a kis egész számok (oktáv 1/2, kvint 2/3, kvart 3/4, stb.) Minthogy Orfeusz még a vadállatok is meg tudta szelidíteni lantjával, amelynek húrjai harmonikus hangokat voltak képesek kelteni, a dolgok lényegét a számok fejezik ki. Ez a pitagoreusok alapelve.

Az  $a^2 + b^2 = c^2$  Pitagorasz-tételt geometriailag bizonyították.

A  $c^2 = 1^2 + 1^2 = 2$  egyenletből kiindulva bizonyították, hogy  $c$  nem lehet  $n/m$  alakú racionális szám, tehát irracionális. Ez aláásta a pitagoreusoknak a számok fontosságát hangsúlyozó alapelvét.

**Pheidiász** (Kr. e. V. század)

Diszkobolosz, Parthenon

**Anaxagorasz** (Kr.e. 500-428)

A Nap egy tüzes kődarab

**Demokritosz** (Kr.e. 460-371) Alderra

Atom: a tovább nem osztható.

**Platon** (Kr.e. 427-347) Athén

A látható világ csak árnyképe a valóságosnak, az ideák világának. A négy őselem, a négy szabályos test, a négy évszak, a négy emberi alkat kapcsolata:

oktaéder (8)	levegő	meleg nedves	tavas	vér	szangvinikus
tetraéder (4)	tűz	meleg száraz	nyár	epe	kolerikus
hexaéder (6)	föld	hideg száraz	ősz	feketeepe	melankólikus
ikozaéder (10)	víz	hideg nedves	tél	nyálka	flegmatikus

**Arisztotelesz** (Kr.e. 384-322) Athén

A filozófia legkiemelkedőbb alakja. Változás: ami, amiből, amivé. Keletkezés, elpusztulás, minőségi változás, mennyiségi változás, helyváltoztatás. A változás okai: anyagi ok, formai ok, ható ok, cél ok.

Politikai rendszerek: egy személy uralma (tiranisszá fajulhat), a kiválasztottak uralma (oligarchiává fajulhat), a többség uralma (demagógiává fajulhat).

Az egészséges politikai rendszer feltétele: a törvényhozó hatalom, a törvényt végrehajtó hatalom és a bírói hatalom független kell, hogy legyen. Montesquieu fejlesztette tovább. (Ők még nem tudhattak a médiáról, mint negyedik hatalmi ágról) Az arisztoteleszi világkép összefoglalása:

<b>Kozmosz</b>	<b>Mozgás</b>	<b>Anyag</b>
zárt, hierarchikus	folyamat és nem állapot	folytonos nem atomos
Mindennek megvan a helye, ahová természeténél fogva törekszik.		
égi szférák:  csillagok, Nap Hold	Mozgás az örök harmónia szerint: egyenletes körmozgás vagy ilyenek összetétele.	Változatlan, nem keletkező és el nem tűnő anyag. quinta essentia
szublunáris világ: tűz levegő víz föld	Természetes mozgás: a nehéz lefelé, a könnyű felfelé	Az őselemek, azaz a föld, a víz, a levegő és a tűz keveredéséből és szétválásából adódó változások világa.
Kényszerített mozgás: minden mozgáshoz vele érintkező mozgató szükséges		
Vakuum lehetetlen (fizikailag is, fogalmilag is)		

Aquino-i Szent Tamásig az ókori tudomány tiltott volt. Ő lenyűgözve Arisztotelesz zsenialitásától, ami a filozófiában, a politikában, az etikában stb. nyilvánult meg, elfogadtatta az Egyházzal az egész Arisztotelesz-i tanítást, a fizikát is.

**Nagy Sándor** (Kr.e. 356-323)

**Arisztarhosz** (Kr.e. III sz.)

A bolygók a Nap körül keringenek

**Euklidesz** (Kr.e. 300 ) Alexandria

Axiomatikus geometria

**Ptolemaiosz, Philadelfosz** (Kr.e. 308-246) Alexandria

Az alexandriai könyvtár megalapítója.

**Arhimedesz** (Kr.e. 287-212) Szirakuszai

Arhimedesz-törvénye. Ennek alapján meg tudta határozni a korona arany/ezüst összetételét. Heuréka! Száz ökröt áldozott az isteneknek. Azóta az ökrök félnek a tudománytól. "Noli perturbare circulos meos" mondta a római katonáknak.

**Erathosztenesz** (Kr.e. 276-194) Alexandria

Megmérte a Föld sugarát. Azt hallotta, hogy Szüénében belesüt a nap a kútba.

**Ptolemaiosz, Klaudiosz** (Kr. után 120-160) Alexandria

Megadta a bolygók mozgásának leírását a geocentrikus rendszerben.

Az ókori görög világban sok kísérleti felismerés is született, nem egy közülük Alexandriában, a hellenizmus korának tudományos központjában: így a sztatika néhány egyszerű törvénye (emelő-szabály, súlypont), optikai felfedezések (tükörkészítés, fényvisszaverődés törvényei, fénytörés), a hidrosztatika alaptörvényének felfedezése (Archimedes törvénye), a mágnesesség és az elektromosság jelenségének felismerése. A megelőző korok természettudományi ismereteit Arisztotelész összegezte "Physika" c. művében, vezérlőelvként a természet célszerűségét tételezve fel. A fizika, főleg a mechanika szemszögéből nézve ez a későbbi korok számára nem bizonyult szerencsésnek, illetve a pithagoreusi-platoni tanokból átvett dualista szemlélet is tévutat jelentett (a mechanikai mozgások leírásánál a tehetetlenség törvénye helyett a folytonos mozgató erő feltételezésével, ill. a "tökéletes" csillagvilág és a földi tárgyak törvényeinek szembeállításával).

## **Középkor**

Az ókori ismereteket a népvándorlás viharai közepette az arabok őrizték meg, fejlesztették tovább (csillagászat, optika), majd közvetítették Európa felé (12-13.század).

A késő-középkorban az európai kultúrkörben fölerősödött az érdeklődés a természettudományos kérdések iránt. Ennek egyik forrása a kora-középkortól folyó kiterjedt műszaki tevékenység volt: a várak, székesegyházak építkezései, valamint a vízierőmvekre és szélkerekekre alapozott ipari technikák (pl. malmok, kovácsműhelyek) kifejlesztése, elsősorban az önellátásra törekvő kolostorokban, majd a növekvő városokban. Másik ösztönzőként éppen az arab hatásra megismert, és a megalakuló európai egyetemeken elterjedő ókori természetismeret tekinthető. Bár az arisztotelészi természetfilozófia évszázadokra meghatározó tényezővé vált az európai egyetemeken, idővel más hatások is érvényesültek. Ebben az időben tette meg kezdeti lépéseit a kísérletezésre -és nem a spekulatív elméletekre- alapozott kutatás.

## **II. A klasszikus fizika kialakulásának kora. (1492-1687)**

Amerika felfedezésétől (1492) Newton Principia Mathematica Philosophiae Naturalis c. művének megjelenéséig (1687)

A földrajzi felfedezések kora,

A reformáció kora,

Az angol polgári forradalom kora,

Magyarországon a török hódoltság kora.

Az arisztotelészitől eltérő ókori elképzelések újjáéledtek. Nicole d'Oresme francia püspök a Földnek a heliocentrikus szemlélet szempontjából fontos tengelykörüli

forgómozgását tételezte fel (14.század). Majd -feltehetőleg Arisztarchosz nyomán- Kopernikusz matematikai számításokkal alátámasztott heliocentrikus elméletet dolgozott ki (De Revolutionibus Orbium Coelestium, 1543.). A Napot a bolygórendszerünk középpontjába állító elmélete óriási hatásúvá lett. Egyrészt a Naprendszer valóságos tényei felé terelte a kutatást, másrészt olyan korszak kezdetén irányította a figyelmet a bolygómozgások kérdésére, amikor a mechanika törvényeinek vizsgálata került előtérbe. A hajózás, a tüzérség, az ipar, az építészet fejlődése és igényei ösztönözték a természettudományos érdeklődést a mechanika tárgykörei irányába (sztatika, dinamika, hidraulika, ballisztika). Kopernikusz elméletét főleg az arisztotelészi mechanika bírálói karolták fel, köztük is kiemelkedően Galileo Galilei a 16-17. század fordulóján, különösen miután az újonnan feltalált optikai távcsövet felhasználva szemé elé tárult a kopernikuszi világ: felfedezte a Jupiter holdjait, a Hold hegyeit, a Tejútrendszer különálló csillagait, a Vénusz fényének fázisváltozásait, a napfoltokat. Mindazonáltal a heliocentrikus elmélet bizonyítottá válásához még további ismeretekre volt szükség, elsősorban a bolygópályák adatait, valamint a Nap és a bolygók közötti vonzóerőt illetően. Az elmélet tudományos elfogadottsága csak másfélszáz évvel Kopernikusz és háromnegyed évszázaddal Galilei után, Newton munkássága nyomán következett be.

**Kopernikusz, Nikolausz (1473-1543)**

Végigszámolta a bolygók pályáját azzal a feltevéssel, hogy a Nap körül keringenek (Arisztarchosz). Jó leírást kapott.

**Brache, Tycho de (1546-1601)**

Nagyon pontosan megmérte a bolygók pályaadatait. Felfedezett egy szupernóvát és egy üstököst.

**Bocskai István (1557-1606)**

**Bethlen Gábor (1580-1629)**

**Shakespeare, William (1564-1616)**

**Kepler, Johannes (1571-1630)**

Tycho de Brahe pontos adataiból megszerkesztette a Mars pályáját. Azt találta, hogy az ellipszis:

687 naponta a Nap és a Mars  
ugyanazon az egyenesen vannak.  
A Föld pályájának minden alkalommal  
egy másik pontját kapjuk meg.

Eredményül az adódott, hogy a Föld a Nap körül (lényegében) kör pályán mozog.

A körpályán mozgó Földről megfigyelve a Mars látószögét a Napra vonatkoztatva az adódott, hogy a Mars pályája ellipszis.

Kepler törvények :

I. Ellipszis

II. A területi sebesség állandó

III. A keringési idő négyzete osztva a nagy tengely köbével állandót eredményez.

A technika fejlődése megteremtette a rendszeres kísérletezés lehetőségét. A fizika önállósodásának kora G. Galilei munkásságával kezdődik, aki a mai értelemben vett fizikai kutatás módszerének a megteremtője. Alaposan átgondolt kísérlet, a melléktényezők elválasztása, törekvés a jelenségek paraméterei közötti pontos mennyiségi összefüggések megállapítására. Ez Galilei módszere. E módszerrel dolgozta ki Galilei a dinamika alapjait. Tőle származik a tehetetlenség törvényének első megfogalmazása. Kísérlettel bebizonyította, hogy a szabadon eső testek gyorsulása nem függ sűrűségüktől és tömegüktől. Az eldobott test mozgását vizsgálva, felismerte az összetett mozgások törvényét, és kimondta a hatóerők függetlenségének tételét. Életművében példaértékűvé vált a fizikai kutatás módszerének jól megtervezett kísérletekre, matematikai számításokra, majd elméleti következtetésekre való alapozása.

**Galilei, Galileo** (1564-1642)

Távcsövet épített.

Felfedezései:

1. A csillagok pontok, a bolygók korongok. (Hanbury-Brown és Twiss effektus)
2. A Vénusz fázisai hasonlítanak a Hold fázisaira.
3. A bolygók csak a Nap fényét reflektálják.
4. A Jupiternek van 4 holdja.
5. A Tejút csillagokból áll. (Hubble, 1922)
6. A Holdon hegyek vannak.
7. A Napon foltok vannak.

Ez mind ellentétben van az Arisztoteleszi világgéppel.

A hegy csúcsának távolsága a Hold "szélétől"  $d$ , a Hold sugara  $R$ , a hegy magassága  $x$ .

$$(R + x)^2 = d^2 + R^2$$
$$x = (\sqrt{d^2 + R^2} - R)$$

Szabadesés



Feltevés : a gyorsulás állandó, azaz ugyanannyi idő alatt ugyanannyi a sebességváltozás:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = g$$

Ez nehezen mérhető.

A megtett út matematikailag levezethető ebből a feltevésből kiindulva:

$$\begin{aligned}\Delta s &= \frac{1}{2}(v + v + \Delta v)\Delta t = \left(v + \frac{1}{2}\Delta v\right) \Delta t = \\ &= \left(v + \frac{1}{2}g\Delta t\right) \Delta t == v\Delta t + \frac{1}{2}g\Delta t^2\end{aligned}$$

Lejtőn le lehet lassítani a szabadesést!

Időmérés : egy csövön kifolyó víz mennyiségével mérte az időtartamot.

Az inga lengésideje független a tömegtől és a hossz négyzetgyökével arányos.

Galilei inga

A vízszintesen elhajított test parabola pályán mozog:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta z = \frac{1}{2}g\Delta t^2 \\ \Delta x = v\Delta t \end{array} \right\} \rightarrow \Delta z = \frac{1}{2}g\frac{1}{v^2}\Delta x^2$$

A mechanika kifejlesztésében a döntő előrehaladás a 17.század második felében történt. Ch. Huygens tanulmányozta a görbevonaltú mozgások, az ingamozgás és az ütközések törvényszerűségeit.

Részben ezeket felhasználva, **Isaac Newton** fogalmazta meg a mechanika három alapvető törvényét: a tehetetlenség törvényét, az erő, tömeg és gyorsulás közötti összefüggést, és a hatás-ellenhatás törvényét. "A természetfilozófia matematikai alaptételei" (Principia Mathematica Philosophiae Naturalis, 1687) c. művében, bevezette a mai értelemben vett erő fogalmát. A bolygók mozgásának Kepler által felfedezett törvényeiből kiindulva és a Hold keringési pályadatait számításában felhasználva, Newton mondta ki az általános tömegvonzás törvényét.

**Budavár visszafoglalása (1686)**

**Newton, Isaac (1643-1727)**

A mechanika 3 alaptörvénye.

A gravitáció elmélete.

Ugyanazok a törvények érvényesek az égben is és a Földön is.

A Kepler törvények levezetése.  
A fény korpuszkuláris elmélete.  
A differenciálhányados fogalma.

### **Bach, Johann Sebastian** (1685-1750)

Ugyanezen időben G. Galilei, R. Descartes és Ch. Huygens nyomán W. Leibniz megfogalmazta a mozgásmennyiség (impulzus) megmaradásának törvényét és az "eleven erő" ( a mozgási és a helyzeti energia összege) megmaradásának törvényét. Ch. Huygens a hullámtan megalapozását végezte el, kimondta a róla elnevezett hullámterjedési elvet. R. Hooke a rugalmasságtan, M. Mersenne az akusztika tanulmányozását indította el. A 17. század folyamán elkezdődött a fizika más ágainak a kibontakozása is (gázok fizikája, hidraulika, mágnesség, elektromosság, optika).

E. Torricelli felfedezte a légnyomást, és elkészítette az első barométert (1643). Vizsgálatainak folytatásaként B.Pascal megalapozta a hidrosztatikát (Pascal törvény: a nyomás egyenletes terjedése folyadékok és gázok belsejében, 1659). R. Boyle és tőle függetlenül E. Mariotte vizsgálatai nyomán megszülettek a gáztörvények (Boyle-Mariotte törvény, 1662). O. Guericke megszerkesztette a légszivattyút és a légritkított "magdeburgi féltekék" (1672) kísérletével demonstrálta a légnyomás létezését.

W. Gilbert mágnesekkel és dörzselektromossággal kapcsolatos kísérleteivel az elektrosztatika és a magnetosztatika területét nyitotta meg az 1600 körüli években. Az elektromos kísérletek hosszú ideig legfontosabb eszközének, a dörzselektromos gépnek a feltalálása ugyancsak O. Guericke nevéhez fűződik (1672). Az ekkortájt megalkotott távcső és mikroszkóp keltette érdeklődés következtében irányult nagy figyelem az optikára. W. Snellius és R. Descartes felismerte a fénytörés törvényét, F.Grimaldi felfedezte a fénydiffrakció jelenségét (1650), O.Römer megmérte a fény terjedési sebességét (1676). Ekkor született a fizikai fénytán két vetélkedő elmélete: R.Descartes és I.Newton a fény korpuszkuláris elméletét, R.Hooke és Ch.Huygens a fény hullámelméletét fogalmazta meg. Mindkét elmélet a fény terjedését egy láthatatlan, igen finom közvetítő anyag, az éter feltételezésével vélte megoldani; a korpuszkuláris elmélet szerint a fényterjedés részecskék által, a hullámelmélet szerint viszont az éter hullámmozgásával történik.

### **Römer, Olaf** (1644-1710)

Megmérte a fénysebességet a Jupiter holdjainak a segítségével.

### **Descartes, Rene** (1596-1650)

Cogito ergo sum. Gondolkodom, tehát vagyok.  
A fénytörés törvénye.  
Analitikus geometria.

### **Fermat, Pierre** (1601-1665)

Fermat-elv: a legrövidebb fényterjedési idő elve.

**Huygens, Christian** (1629-1695)

Huygens-elv: a hullám minden pontja gömbhullámok kiinduló pontja.

**Apáczai Csere János** (1625-1659)

Magyar Encyklopaedia.

### III. A klasszikus fizika kiteljesedésének kora (1687-1900).

**1. Mechanika** A 18.század a newtoni fizika kiteljesedésének kora. Kialakult az a hit, hogy a mechanika törvényei alapján az egész világ minden jelensége megmagyarázható. P.S.Laplace a Naprendszer fejlődésére mechanikai alapokon dolgozott ki elméletet.

J. I. d'Alambert, J.Bernouilli és J.L.Lagrange kidolgozta a kényszereknek alávetett rendszerek dinamikáját. Lagrange egészen általános alakban fogalmazta meg a mechanika egyenleteit. L. Euler lerakta a merev testek dinamikájának alapjait, D. Bernoulli, L. Euler, és J. L. Lagrange az ideális folyadékok hidrodinamikáját alkották meg.

**Bernoulli, Johann** (1667-1748)

A gázáramlás Bernoulli-törvénye: a nyomás és a torlónyomás összege állandó.

**Hatvani István** (1718-1786)

Fizika, teológia, orvostudomány.

**d'Alambert, Jean** (1717-1783)

A francia nagy Enciklopédia

**Lagrange, Joseph** (1736-1813)

**Euler, Leonhard** (1707-1783)

**Laplace, Pierre** (1749-1827)

Fekete lyukak létezhetnek.

**Hamilton, William** (1805-1865)

Hamilton elv: a legkisebb hatás elve.

Az  $S[q_i, \dot{q}_i]$  hatás:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(q_i, \dot{q}_i, t) dt$$

ahol  $L(q_i, \dot{q}_i, t)$  a Lagrange függvény.

Az  $S[q_i, \dot{q}_i]$  hatás egy funkcionál, azaz egy szám, amely függvényektől függ.

Keressük azt a  $q_i(t)$  függvényt, amelynél  $S$ -nek szélső értéke van, azaz

$$\delta S = 0 .$$

Virtuális pályák:

$$\begin{aligned} \delta S &= \int_{t_1}^{t_2} \delta L(q_i, \dot{q}_i, t) dt = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \left[ \sum_i \left( \frac{\partial L}{\partial q_i} \delta q_i + \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \delta \dot{q}_i \right) + \frac{\partial L}{\partial t} \right] dt = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \left[ \sum_i \left( \frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) \delta q_i + \frac{\partial L}{\partial t} \right] dt + \\ &\quad + \left[ \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \delta q_i(t) \right]_{t_1}^{t_2} = 0 \end{aligned}$$

Ha  $\frac{\partial L}{\partial t} = 0$ , és a  $\delta q_i(t)$  variációk tetszőlegesek, de a határokon eltűnnek:

$$\delta q_i(t_1) = 0 , \quad \delta q_i(t_2) = 0 ,$$

akkor fenn kell hogy álljanak a Euler-Lagrange egyenletek:

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0 ,$$

Ezek a mozgásegyenletek. Példa: harmonikus oszcillátor.

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{2} m \dot{q}^2 - \frac{1}{2} m \omega^2 q^2 \\ \frac{\partial L}{\partial q} &= -m \omega^2 q , \quad \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = m \dot{q} , \\ -m \omega^2 q - \frac{d}{dt} m \dot{q} &= 0 \\ \dot{q} &= -\omega^2 q , \\ q(t) &= A \cos \omega t . \end{aligned}$$

Ha ismerjük az  $L(q_i, \dot{q}_i, t)$  Lagrange- függvényt, akkor a mozgásegyenleteket le tudjuk vezetni. A mozgásegyenleteket kell megoldani. A megoldás: az a valóságos pálya,

amelyen a hatás számértéke minimális. A többi virtuális pálya csak, a kényszerfeltételeknek elegettevő, elképzelt pálya.

### A kvantum elmélet Feynman-féle megfogalmazása

Átmeneti amplitúdó:

$$\langle q_1(t_2) \dots q_f(t_2) | q_1(t_1) \dots q_f(t_1) \rangle = \sum_{\{q_j\}} \exp(iS[q_j, \dot{q}_j]/\hbar).$$

Az összes virtuális pályára összegezni kell és akkor megkapjuk annak a valószínűségi amplitúdóját, hogy a rendszer a

$$\begin{array}{ll} q_1(t_1), \dots, q_f(t_1) & \text{kezdő állapotból átme} \\ q_1(t_2) \dots q_f(t_2) & \text{végállapotba.} \end{array}$$

Az összegzés valójában integrálást jelent: ez a Feynman-féle pályaintegrál. Hogy ez valóban igaz, az bizonyítható minden olyan esetben, amikor a közös kvantummechanikai feladat megfogalmazható. Ezért ez az eljárás általánosabb, mint a hagyományos u.n. kanonikus kvantálás. Az átmeneti amplitúdóhoz minden lehetséges pálya ad járulékot. Ha  $\hbar \rightarrow 0$ , akkor csak az a pálya ad járulékot, amely körül  $\delta S = 0$ . Ez éppen a klasszikus pálya lesz.

**Goethe, Johann Wolfgang** (1749-1832)

**Coriolis, Gaspard** (1792-1843)

**Gauss, Karl** (1777-1855)

## 2. Elektrodinamika

A mechanika diadalútja mellett, főleg a 18.század második felében az elektromosság és mágnesség vizsgálatában történt jelentős előrehaladás.

Felismerték, hogy kétféle elektromosság létezik (1733) és B. Franklin felfedezte a töltés megmaradás törvényét. A 18.sz. közepén készítették az első elektromos kondenzátort, a leydeni palackot, ami lehetőséget adott számottevőbb mennyiségű elektromos töltés felhalmozására, elősegítve az elektrosztatika törvényeinek vizsgálatát. A mai szóhasználatunkban Coulomb-törvény néven ismeretes törvényt egymástól függetlenül H. Cavendish, J. Priestley és Ch. Coulomb fedezte fel. Coulomb mérései kiterjedtek a mágnespólusok hasonló törvényének vizsgálatára is.

Új elméletek keletkeztek az atmoszférikus elektromosságról. 1752-ben B. Franklin, majd 1753-ban M. V. Lomonoszov bizonyították a villám elektromos természetét.

L.Galvani, a fémhez érő békacomb összerándulását megfigyelve, nemcsak a bioelektromosságot fedezte fel, hanem elindítója lett a galvanikus elektromosság kutatásának.

Ennek hatására fejlesztette ki A.Volta az állandó áramot adó u.n. volta-oszlopot, az első galvánelemet, ami a további elektromos kísérleteket segítette. H.C.Oersted 1820-ban fedezte fel az áram mágneses hatását, aminek törvényszerűségeit J.B.Biot, F.Savart kísérletei és P.S.Laplace elméleti munkái tisztázták. A.M.Ampere felfedezte az elektrodinamika alapvető jelenségét: két áramvezető hurok mágneses kölcsönhatását, majd elméletet dolgozott ki a mágnesességre vonatkozóan: eszerint a mágneses jelenségeket köráramok hozzák létre és nem létezik mágneses anyag. Az elektromosságtan felfedezéseiben kiemelkedő szerep jutott M.Faraday-nek; nevéhez fűződik az elektromágneses indukció felismerése (1831), az elektromotor feltalálása, az anyagok elektromos és mágneses tulajdonságainak kiterjedt tanulmányozása.

**Gilbert, William** (1540-1603)

**Franklin, Benjamin** (1706-1790)

**Coulomb** törvény (1784)

**Ohm** törvény (1826)

**Faraday, Michel** (1791-1867)

**Maxwell, Clark** (1831-1879)

## Relativisztikus elektrodinamika

Elektromos töltések és mágnesezett testek közelében térben és időben változó erőhatásokat lehet megfigyelni. Feltételezzük, hogy e jelenségeket egy fizikai mező idézi elő, amit egy négyesvektorral írunk le:

$$\begin{aligned} A_i(x) \quad (i = 0, 1, 2, 3) \\ x = (\vec{x}, t) \end{aligned} \quad (1)$$

Keressük az  $A_i(x)$  mezőt meghatározó törvényt. Ebben a törvényben elő fog fordulni a mező derivált tenzora:

$$\partial_h A_i(x)$$

Követeljük meg a lokális mérték invarianciát, azaz a törvény alakja maradjon változatlan ez

$$A'_i(x) = A_i(x) + \partial_i \theta(x) \quad (2)$$

transzformáció során, ahol  $\theta(x)$  tetszőleges valós skalár. Ez teljesül, ha a keresett törvényben a derivált tenzornak csak az  $F_{ih}(x)$  antiszimmetrikus része fordul elő.

$$F_{ih}(x) = \partial_i A_h(x) - \partial_h A_i(x) . \quad (3)$$

Meggyőződhetünk róla, hogy ez kielégíti a

$$\partial_l F_{ih} + \partial_i F_{hl} + \partial_h F_{li} = 0 . \quad (4)$$

azonosságot.

Képezzük  $F_{ih}$  divergenciáját, és a kapott eredményt jelöljük  $j_h(x)$ -szel:

$$\partial^i F_{ih}(x) = j_h(x) . \quad (5)$$

A  $j_h(x)$  kielégíti a

$$\partial^h j_h(x) = 0 \quad (6)$$

egyenletet.

Meggyőződhetünk róla, hogy a (4) és (5) egyenletek éppen a Maxwell egyenletek.

A (6) egyenlet az elektromos töltés megmaradását garantáló kontinuitási egyenlet, ha az

$$A_i(x) \quad \text{és az} \quad F_{ih}(x)$$

mennyiséget az elektromágneses tér négyespotenciáljaként, illetve térerősség tenzoraként interpretáljuk, a  $j_i(x)$  vektort pedig az áramsűrűség vektorának tekintjük.

A hagyományos jelölésekkel a térerősségek:

$$F_{ih} = \begin{pmatrix} 0 & E_1 & E_2 & E_3 \\ -E_1 & 0 & H_3 & H_2 \\ -E_2 & -H_3 & 0 & H_1 \\ -E_3 & -H_2 & -H_1 & 0 \end{pmatrix}$$

az (5) egyenlet:

$$\begin{aligned} h = 0 & \quad \text{div} \vec{E} = \rho \\ h = 1, 2, 3 & \quad \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \text{rot} \vec{H} = \vec{j} , \end{aligned}$$

a (4) egyenlet:

$$\text{div} \vec{H} = 0 ,$$

a (6) egyenlet:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \text{rot} \vec{E} &= 0 , \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j} &= 0 . \end{aligned}$$

Az elektrodinamika törvényeit megkaptuk úgy, hogy csak a (2) alatti lokális mérték transzformációval szembeni invarianciát követeltük meg! Ezen (U(1)) invariancia elv általánosítása vezetett el a gyenge (SU(2)) és az erős (SU(3)) kölcsönhatás törvényeinek megértéséhez. Az SU(5) szimmetria csoportra alapozott Grand Unified

Theory (elektromos+mágneses+gyenge+erős) kvantitatíve nem bizonyult kielégítőnek, de ennek ellenére megerősítette azt a hitet, hogy a kölcsönhatások elméletei előbb vagy utóbb egyesíthetők lesznek.

### 3. Optika

A 19.század első felének másik központi témaköre az optika volt. A fejlődés a korpuszkuláris fényelmélettel ellenkező felismerésekre vezetett. A Th.Young által felfedezett fényinterferencia, csakúgy, mint az E.L.Malus, D.Brewster, M.Faraday és mások által észlelt fénypolarizációs jelenségek a fény hullámtermészetét igazolták.

**Fourier, Jean** (1768-1830)

Hővezetés.

**Fresnel, Augustin** (1788-1827)

**Fraunhofer, Joseph** (1787-1826)

Fekete vonalak a Nap szinképében.

**Beethoven, Ludwig van** (1770-1827)

### 4. Termodinamika

A 19.század első felének harmadik fő kutatási iránya a hőtán. A megelőző század eredményei közt említendő az alapeszközök kifejlesztése és az alapfogalmak kialakulása (hőmérők; hőmérsékleti skálák; a hőmérséklet, hőmennyiség, hőegyensúly, és hőkapacitás fogalmai; mérések az anyagok átalakulási hőjére, hőkapacitására). Mindez megteremtette az alaposabb vizsgálatok lehetőségeit, ugyanakkor a gőzgép megjelenése, a kémia és a kohászat fejlődése a megoldandó kérdések sorát vetette fel. Megkezdődött a hővezetés, a hősugárzás, a testek hőokozta tágulásának tanulmányozása. A hőjelenségek magyarázatát illetően az egyik elmélet egy állandó mennyiség, láthatatlan, finom, rugalmas, egyik anyagról a másikra terjedő anyagfajtát tételezett fel (flogiszton-elmélet). A kinetikus hőelmélet pedig a hővel kapcsolatos jelenségeket az anyag részecskéinek mozgására vezette vissza. A 18.század mechanikai szemlélete miatt eleinte a flogiszton elmélet vált uralkodóvá és még ennek szellemében oldotta meg J.Fourier matematikai módszerekkel a hővezetés kérdését (1822) és állította fel S.Carnot a hőerőgépek hatásfokának elméletét (1821). Carnot munkája az első lépés volt a termodinamika megteremtéséhez. Ezzel párhuzamosan azonban B.Thomson felismeri, hogy mechanikai munkával -ágyúcső fűréssal- hő termelhető (1798), ami kézenfekvő a kinetikus elmélet alapján, de ellene mond a hőanyag elképzelésnek. 1840-ben J.P.Joule felismerte az elektromos áram hőhatását. Innen már egyenes út vezetett egyrészt a kinetikus hőelmélet egyeduralmává válásához, másrészt az energiamegmaradás tételének a kimondásához. Az utóbbi a mechanikai és hőenergia tekintetében R.Mayer, az elektromos és hőenergia tekintetében J.P. Joule, általános értelemben pedig H.Helmholtz nevéhez fűződik. Az energiamegmaradás tétele a ter-



termodinamika I. főtétele és -az M. V. Lomonoszov és A. L. Lavoisier által felfedezett tömegmegmaradási törvénnyel együtt- a fizika egyik legáltalánosabb elvét jelenti. R.Clausius mondta ki a termodinamika 2. főtétele (1865), bevezetve az entrópia fogalmát.

### Extenzív

E energia  
 S entrópia  
 V térfogat  
 N részecskeszám  
 M mágneses dipól momentum  
 P elektromos dipólmomentum  
 q elektromos töltés

### Intenzív

T hőmérséklet  
 p nyomás  
 $\mu$  kémiai potenciál  
 B mágneses térerő  
 E elektromos térerő  
 $\phi$  elektromos potenciál

Az extenzív mennyiségek összeadódnak.

Az intenzív mennyiségek egyensúlyban egyenlők.

Állapot egyenlet:  $p = p(\rho, T)$

Állapot:

1. Ideális gáz:  $pV = RT$ ,  $p = \frac{R}{M}T\rho$
2. Foton gáz:  $p = \frac{1}{3}aT^4$
3. Ideálisgáz + fotongáz egyensúlyban:  $p = \frac{R}{M}T\rho + \frac{1}{3}aT^4$
4. Nem ideális gáz:  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$  (van der Waals)

Elválasztó falak

Merev fal	Szabadon elmozduló fal
Hőszigetelő fal	Hőáteresztő fal
Részecskét visszatartó fal	Részecskét áteresztő fal
Elektromosan szigetelő fal	Elektromosan vezető fal

Egyensúly esetén az állapotot véges számú N állapotjelző jellemzi. Ezek lehetnek intenzívek vagy extenzívek, de legalább egy extenzív kell, hogy legyen.

### Termodinamikai törvények

0. Létezik egyensúly

I. A hő és az energia egyenértékű

Az energiamegmaradás törvénye:  $dE = \delta Q = TdS$ .

Általánosabban:

$$dE = TdS - pdV + \mu dN + BdM + EdP + \phi dq$$

II. Spontán folyamatok során zárt rendszerben az entrópia növekszik.

III. Az abszolút zérus fok nem érhető el.

$T = 0$ -nál az entrópia zérus.

**Gay-Lussac, Louis** (1778-1850)

Gáztörvény.

**Carnot, Sadi Nicolas** (1796-1832)

A hatásfok  $= (T' - T) / T'$

**Waals, Jan van der** (1837-1923)

Reális gázok állapotegyenlete.

## 5. Statisztikus mechanika

A fizika a 19. sz. második felétől kezdve két fő részre oszlott: a korpuszkuláris fizikára és az erőterek fizikájára. Az első alapja a kinetikus gázelmélet, a másodiké az elektromágneses térelmélet. Joule, Clausius, Maxwell, Boltzmann alkották meg a kinetikus gázelméletet. Ennek már első fejlődési szakaszában, amikor még a molekulákat szilárd, rugalmas golyócskáknak tekintették, sikerült a hőmérséklet és a nyomás értelmezése. A gázmolekulák mozgásának modelljét Maxwell dolgozta ki, és eljutott a sebességeloszlás (róla elnevezett) törvényéhez. A kinetikus gázelmélet lehetőséget adott továbbá a molekulák közepes szabad úthosszána, a molekulák méretének, s térfogategységbeni számuknak a közelítő kiszámítására.

Idővel sikerült a kinetikus elméletet mind bonyolultabb molekula-modellekre is alkalmazni, figyelembe véve a belső szabadsági fokokat, az atomok viszonylagos forgását és rezgését a molekulában. A molekulákban végbemenő folyamatok bonyolultsága a spektrumanalízis felfedezése után lett nyilvánvaló (G. R. Kirchhoff és R. W. Bunsen). Feltárták az energia szabadsági fokok szerinti egyenletes eloszlásának törvényét, azaz bebizonyították, hogy minden szabadsági fok közepes energiája az abszolút hőmérséklettel arányos (ahol az arányossági tényező a Boltzmann-állandó).

A kinetikus elméletben használták fel először a valószínűségszámítást, ami kiindulási pontul szolgált az egyik legáltalánosabb fizikai elmélet, a statisztikus fizika megalapozásához. A statisztikus fizika alapjait a 20.sz. küszöbén J. W. Gibbs rend-

szerezte. Boltzmann állapította meg az entrópia és az állapot valószínűsége közötti kapcsolatot: az entrópia arányos az állapot termodinamikai valószínűségének logaritmusával:

$$S = k \ln W$$

ahol  $k$  a Boltzmann-féle állandó,  $W$  a termodinamikai valószínűség.

**Boltzmann, Ludwig** (1844-1906)

A statisztikus értelmezés megmagyarázza a fluktuációkat, vagyis a rendszer paramétereinek a várható érték körüli szórását. Ezen az alapon sikerült M. Smoluchowski-nak és A. Einstein-nek a 20.sz. első éveiben értelmezni a Brown-féle mozgást. A kinetikus és statisztikus elmélet sikerei az atomhipotézis elméletté szilárdulását segítették elő.

**Gibbs, Josiah** (1839-1903)

Statisztikus sokaságok.

## 6. Az elektromágneses térelmélet

Alapvető jelentősége volt az elektromágneses térelmélet felállításának. Az elektromágneses mező elméletének alapjait M. Faraday dolgozta ki. Felfedezte a dielektrikumok befolyását az elektrosztatikus kölcsönhatásra (1837), és először mondta ki, hogy az elektromos és a mágneses erők nem távolba hatnak egyik töltéstől a másikra, hanem közegen át pontról pontra terjednek. Faraday erőter elméletét matematikailag Maxwell dolgozta ki a hatvanas években. Az elektromágneses mező elmélete csak azután vált következtetéssé, miután Maxwell felfedezte az eltolási áramot, azaz bebizonyította, hogy az elektromos mező változása ugyanúgy mágneses mezőt hoz létre, mint a vezetési áram. Ezek után vált lehetővé az elektromágneses mező teljes egyenletrendszerének, a Maxwell-egyenleteknek a megfogalmazása. Az elektromágneses-térelmélet az elektromágneses hatások véges sebességének gondolatához vezetett, amit Maxwell mondott ki. A fény elektromágneses elmélete egybeolvasztotta az elektromágnesességtant az optikával. J. H. Poynting kvantitativ leírta az energiaáramlást. Az elektromágneses térelmélet döntő bizonyítéka pedig az volt, hogy H. Hertz kísérletileg bebizonyította az elektromágneses hullámok létezését. Végül már a 20.sz. határán P. N. Lebegyev kísérletileg kimutatta a fénynyomást.

A mechanikában megalkották a rugalmasság-elméletet, a hidromechanikában az ideális és viszkózus folyadékok elméletét. Az akusztikában kidolgozták a rugalmas rezgés és hullám elméletét. A 19.sz. második felében jelentősen megnőtt a fizika szerepe a technikában. Az elektromosságot először a hírközlés eszközeként (távíró) alkalmazták, majd hamarosan mint az energiafejlesztés és -átadás módszerét és mint

fényforrást is.

**Hertz, Heinrich** (1857-1894)

Kimutatta az elektromágneses hullámok létezését.

**Jedlik Ányos** (1800-1895)

A dinamó felfedezése.

Létrejött az alacsony hőmérsékletek fizikája. Sikerült az összes gázt cseppfolyósítani a hélium kivételével. A fizika fejlődés megteremtette a feltételeket a technika új területeinek kidolgozásához. Megnőtt a fizika hatása a többi természettudományokra is. A 19.sz. utolsó negyedében létrejött a fizikai kémia. A spektrumanalízis lehetőséget teremtett az asztrofizika létrejöttéhez.

#### **IV. A modern fizika kialakulásának kora (1900-1928).**

##### **1. Kvantumfizika**

A hullám-részecske dualitás.

A modern fizika kora a 19.sz. utolsó éveiben kezdődött. Ezt a szakaszt az anyag mikrostruktúrájába való behatolás jellemzi. A fizika történetének ez a szakasza az elektron felfedezésével, hatásának és sajátosságainak vizsgálatával kezdődött. (J. J. Thomson és H. A. Lorentz). Kiderült, hogy az elektron határozott tömegű elemi részecske, amely a legkisebb elemi elektromos töltéssel bír. Ez azt is jelenti, hogy az atom nem a legkisebb "elemi" rész, hanem maga is bonyolult rendszer. Bizonyítást nyert, hogy az elektronok száma és eloszlásuk az atomban, megszabja az atom elektromos, optikai, mágneses és kémiai sajátosságait. Az elektronburok struktúrájától függ az atom vegyértéke, polarizálhatósága, mágneses momentuma, valamint optikai és röntgenspektruma. Már a 19.sz. végén kitnt, hogy a hősugárzás frekvenciaeloszlásának klasszikus értelmezése ellentmond a valóságnak. 1900-ban M. Planck megtalálta a hősugárzás frekvenciaeloszlásának a helyes törvényét. Eszerint az elektromágneses tér energiája nem folytonos, hanem meghatározott energia adagokból, kvantumokból tevődik össze. Az energiakvantum a sugárzás frekvenciájával arányos, az arányossági tényező egy univerzális állandó, a Planck-állandó. Planck hipotézise a sugárzási energia kvantáltságáról a kvantumelmélet kiindulópontja lett. Ennek nyomán magyarázta meg Einstein a fényelektromos jelenséget, feltételezve, hogy a fény is kvantumokból, fotonokból áll.

A fény fotonelmélete lehetővé tette a sugárzás és a részecskék kölcsönhatásainak helyes magyarázatát. Kitűnt, hogy a fény kettős természet, korpuszkuláris és hullámtulajdonságú. E. Rutherford az  $\alpha$ -részecskéknek atomon történő szóródása alapján ismerte fel, hogy az atomban egy kicsiny mag körül keringenek az elektronok. Ez a modell sok jelenséget helyesen magyarázott, de eszerint az elek-

tronok gyorsuló mozgása következtében az atomnak folytonosan energiát kellene sugároznia, ami önmagában is ellentmond a tapasztalatnak és még inkább azon következménye által, hogy akkor az atom nem lehetne stabilis, hanem az elektronoknak az energiavesztés miatt bele kellene zuhanniuk a magba. Ezen ellentmondások feloldásának útján az első lépést N. Bohr tette 1913-ban. Az elektronok a Bohr-féle atommodell szerint is a mag körül keringenek, de nem tetszős szerinti pályákon; csak diszkrét pályák lehetségesek. Mivel pedig minden pályával határozott energia- és impulzuszómomentum kapcsolatos, tehát ezek a mennyiségek is kvantáltak. Az atom az egyik megengedett pályáról a másikra való átmenetkor nyel el, vagy sugároz ki fotonokat. Az atom energiájának kvantált voltát megerősítették az atomszínképek törvényszerűségei, és közvetlenül bizonyította a rugalmatlan atom-elektron ütközés (Franck-Hertz- kísérlet). A Bohr-féle atommodell azonban ellentmondásos volt, mesterkéltén egyesítette a klasszikus fizika törvényeit az attól idegen kvantumosság feltételezésével. Ebből az ellentmondásból a kvantummechanika talált kiutat. A kvantummechanika kiinduló tétele az, hogy a mikrorészecskék kettős természetűek: korpuszkuláris sajátságai mellett hullámsajátságokat is mutatnak. Következésképp a mikrorészecskét nem helyes határozott pályán mozognak, a klasszikus mechanika anyagi pontjának mintájára elképzelni: a mikrorészecskének nincs egyidejűleg határozott impulzus- és koordináta- értéke. Heisenberg ezt úgy fogalmazta meg, hogy a koordináta és az impulzus bizonytalanságának szorzata nem lehet kisebb a Planck állandónál. A mikrorészecskékről szóló ezen radikálisan új elképzelések hatalmas tényanyag általánosításának az eredményeként jöttek létre, rendkívül gyümölcsözőnek és hatásosnak bizonyultak, forradalmasították az egész fizikai világgépet.

A kvantumelméletnek sikerült az atomok, a molekulák és a bennük végbemenő folyamatok sajátságainak, a szilárdtestek és az elektromágneses sugárzás tulajdonságainak a magyarázatát adni. A kvantumfizika leírja a testek legkülönbözőbb (elektromos, mágneses, optikai, kémiai és kristallográfiai) tulajdonságainak és jelenségeinek kölcsönös kapcsolatait.

**Röntgen, Wilhelm** (1845-1923)

Az  $X$ -sugarak felfedezése (1906)

**Thomson, Joseph John** (1856-1940)

Az elektron felfedezése (1897)

Az  $e/m$  meghatározása.

**Millikan, Robert** (1868-1953)

Az elektron töltés meghatározása.

**Planck, Max** (1858-1947)

A hőmérsékleti sugárzás spektrumának magyarázata azon feltevés alapján, hogy az elektromágneses tér  $E$  energiája:  $E = \sum_{\nu} n_{\nu} h\nu$   $n_{\nu} = 0, 2, 3, \dots$

**Lénárd, Fülöp** (1862-1974)

A fotoeffektus felfedezése:  $h\nu = E_e + A$

**Balmer, Johann** (1825-1898)

Balmer- formula.

A hidrogén spektrumának fenomenológiai leírása:  $\nu_{nm'} = cR \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$ .

$n, < n' = 1, 2, 3, \dots$  **Bohr, Niels** (1885 – 1962)

*Bohr – modell.*

**Selényi Pál** (1884 – 1954)

*Nagyszögűintr ferencia.*

**Brogli, Maurice** (1875 – 1960)

*Anyaghullámok.*

**Born, Max** (1882-1960)

A kvantumelmélet értelmezése.

**Heisenberg, Werner** (1901-1976)

A kvantumelmélet megfogalmazása a matrixok nyelvén.

**Lánczos Kornél** (1893-1974)

A kvantumelmélet megfogalmazása az integrálegyenletek nyelvén.

**Schrodinger, Erwin** (1887-1961)

A kvantumelmélet megfogalmazása a differenciálegyenletek nyelvén.

**Dirac, Paul** (1902-1984)

Relativisztikus kvantumelmélet.

**Pauli, Wolfgang** (1900-1958)

Pauli-féle kizárási elv a fermionokra.

**Neumann János** (1903-1957)

A kvantumelmélet matematikai megalapozása.

**Bose, Sathindranath** (1892-1974)

Bose-Einstein statisztika az egész spinű bozonokra.

**Fermi, Enrico** (1901-1954)

Fermi-Dirac statisztika a feles spinű fermionokra.

**Schwinger, Julian** (1918-1994)

A kvantumtérelmélet megalapozása.

**Feynman, Richard** (1918-1988)

A kvantumtérelmélet megalapozása.

**Marx György** (1927-)

A leptonszám megmaradás törvénye.

**Novobátzky Károly** (1884-1968)

Az elektromágneses tér kvantálása.

## 2. Relativitáselmélet.

A 20. sz. első negyedében bekövetkezett a modern fizika második nagy forradalma: megszületett a relativitáselmélet. A. Einstein 1905-ben alkotta meg a tér és az idő új elméletét ez a speciális relativitáselmélet, amelyet történelmileg H. A. Lorentz, H. Poincaré és mások munkái készítettek elő.

A relativitáselmélet szerint a fizika törvényei minden inerciarendszerben azonos alakúak és a fénysebesség minden inerciarendszerben ugyanaz. Ezt 1887-ben Michelson interferometriás kísérlete bizonyította be. A fénysebesség állandósága azt is jelenti, hogy a fénysebesség nagyságrendjében történő mozgásokra nem alkalmazható a newtoni mechanika sebesség-összegzési törvénye: a fénysebesség minden anyagi hatás terjedési sebességének a felső határa.

A speciális relativitáselmélet egyik legfontosabb felismerése a tömeg és az energia egyenértékűségének törvénye. Ez különösen az atommagfolyamatok tekintetében jelentős.

Később (1916) Einstein megalkotta az általános relativitáselméletet, átalakítva a gravitációról szóló régi tanításokat. A gravitáció a tér metrikájával jellemezhető, s ezt a metrikát, a tömegek térbeli eloszlása határozza meg. A testek a meggörbített geometriájú térben geodetikus pályán mozognak, ezt érzékeljük gravitációs hatásnak. A természettörvényeket a Riemann-féle geometria eszközeit felhasználva kell megfogalmazni, feltételezve, hogy a tér-idő görbületét a jelenlevő anyag határozza meg. Eötvös mérései szerint a súlyos és a tehetetlen tömeg egymással azonosnak tekinthető, azért a gravitációs hatásnak kitett vonatkoztatási rendszer nem különböztethető meg egy megfelelően gyorsuló vonatkoztatási rendszertől. Einstein, ezt az ekvivalenciát felhasználva, ismerte fel, hogy a gyorsuló vonatkoztatási rendszerben érvényes természettörvények ugyanolyan alakúak, mint az ekvivalens gyorsuló vonatkoztatási rendszerben. Minthogy az inerciarendszer speciális esetnek tekinthető, azért kimondható a fizika talán legszebb igazsága: a természettörvények minden vonatkoztatási rendszerben azonos alakúak!

**Michelson, Albert** (1852-1931)

**Poincaré, Jules** (1854-1912)

**Lorentz, Hendrik** (1853-1928)

Lorentz transzformáció.

**Bolyai János** (1802-1860)

A nem-Euklideszi geometria felfedezése. Létezik olyan konstans negatív görbületű két dimenziós felület, amelyen érvényesek egy kivétellel az Euklideszi geometria

posztulátumai, de amely nem ágyazható be a három dimenziós Euklidesz-i térbe (ezért kellett rá várni 2000 évet.)

**Eötvös Lóránd** (1848-1919)

A súlyos és tehetetlen tömeg egyenértékűsége.

**Einstein, Albert** (1879-1955)

A négyes téridő görbületét meghatározó Einstein tenzor arányos a jelenlevő anyag energia-impulzus tenzorával.

**Friedmann, Alexander** (1888-1925)

A homogén, izotróp anyageloszlás által előidézett görbület időben nem állandó.

**Schwartzschild, Karl** (1873-1916)

Meghatározta a pontszerű anyag által gömbszimmetrikusan meggörbített tér metrikus tenzorát.

**V. A modern fizika kiteljesedésének kora.** (1928-200)

### **1. Magfizika és részecskefizika.**

A 20.sz. második negyedében folytatódott a fizika forradalmi átalakulása, ami az atommag szerkezetének és a benne végbemenő folyamatoknak a megismerésével, továbbá az elemi részecskék fizikájának a létrejöttével kapcsolatos. A radioaktivitást és a nehéz magok átalakulását még a 19.sz. végén felfedezték (H. Becquerel, P. és M. Curie). A 20.sz. első évtizedeiben fedezték fel az izotópokat. A mesterséges atommagátalakítás első közvetlen kísérlete 1919-ben történt, mikoris Rutherford stabilis nitrogénatomot  $\alpha$  -részecskékkel bombázott, és nagy hatótávolságú protonokat kapott. A magfizika fejlődésének következő szakasza a neutron felfedezésével kezdődik (1932). Ez adott lehetőséget a modern atommag-modell megalkotására. Ezzel egyidőben fedezték fel az elektron antirészecskéjét a pozitront, amit a Dirac-egyenlet alapján előre megjósoltak. 1934-ben I. Curie és F. Joliot-Curie felfedezte a mesterséges radioaktivitást. Néhány év alatt a mesterséges izotópok százait állították elő. Nagy szerepe volt a magfizika fejlődésében a részecskegyorsítók megalkotásának. Az első gyorsítóberendezések, az elektrosztatikus gyorsító és a ciklotron voltak, amelyek célja nagy sebességű részecskék előállításuk. Ezek lehetővé tették a különböző magreakciók létrehozását és tanulmányozását. A magfizika legfontosabb eredménye ebben az időszakban az atommagenergia-felszabadítás lehetőségének, a maghasadásnak a felfedezése volt

A neutron jelenléte a magban arról tanúskodott, hogy a magon belüli erők nem



lehetnek elektromos jellegűek. 1935-ben Yukawa kimondta azt a feltevést, hogy a nukleonok közötti kölcsönhatás egy további részecske, a mezon segítségével megy végbe. A megjósolt mezont, a piont Powell 1947-ben figyelte meg a kozmikus sugárzásban. A magerők mezonelmélete lehetővé tette a magokban zajló folyamatok jobb megértését: a részecskéket a térelmélet keretei között, bizonyos fizikai terek (mezők) megnyilvánulásaként, ezek kvantumaiként értelmezzük. Az évek folyamán az ismert elemi részecskék száma gyorsan növekedett. Az elektron, a pozitron, a proton, a neutron, a pion és a foton mellett, felfedeztek több új mezon fajtát. A neutrínó létezését is sikerült igazolni: ködkamra segítségével Csikai Gyula és Szalay Sándor lefényképezte a neutrínó által visszalökött atommag nyomát. 1953 után felfedezték a nukleonoknál nagyobb tömegű, instabil nehéz részecskéket, amelyeket a nukleonok gerjesztett állapotainak tekinthetünk. 1955-ben felfedezték az antiprotont, majd az antineutront. Mindezek a felfedezések arról tanúskodnak, hogy a részecskék keletkezhetnek is, és meg is semmisülhetnek. A tények egyre inkább azt mutatták, hogy az elemi részecskék egyáltalán nem elemiek a szó eredeti értelmében, hanem bonyolult szerkezetek. A második világháború (1939-45) időszakában megtették a döntő lépést az atomenergia felszabadítására. Ez elvezetett az első atomrobbantáshoz, majd a termonukleáris fúzió felhasználásával 1952-ben létrehozták az első hidrogénbombát. Ugyanekkor kezdtek hatalmas energiájú részecskegyorsítókat konstruálni.

**Becquerel, Henri Alexander** (1852-1908)

**Curie, Marie** (1867-1934)

Radióaktivitás.

**Rutherford, Ernst** (1871-1937)

Magreakciók

**Weitzsacker, Karl** (1917- )

Cseppmodel

**Chadwick, James** (1891-1947)

Felfedezte a neutront

Héjmodell

Kollektív modell

Egyesített modell

**Yukawa, Hideki** (1907-1981)

Magerok mezonelmélete

**Hahn, Otto** (1879-1968)

Felfedezte a maghasadást

**Teller Ede** (1908- )  
Megvalósította a magfúziót.

**Wigner Jenő** (1902-1995)  
**Szilárd Leó** (1898-1964)  
Kidolgozták az atomenergia felszabadítás módszereit.

**Hevesy György** (1885-1966)  
Radióaktív nyomjelzés

**Compton, Arthur** (1892-1962)  
Felfedezte a gamma sugarak szóródásának törvényeit.

**Powell, Cecil** (1903-1969)  
Felfedezte a pionokat.

**Fermi, Enrico** (1901-1954)  
Megépítette az első atomreaktort.

## 2. Anyagszerkezet

Gázok, folyadékok, szilárdtestek, plazmák, kvantumfolyadékok

A szilárdtest fizika területén a legnagyobb figyelmet a kristályfizika érdemli. A röntgenanalízis és az atomelmélet lehetőséget adott a kristályos testek alaptípusainak osztályozására (kristályrács- meghatározás), a kristályrácsok sztatikájának, dinamikájának és termodinamikájának megalkotására, a kristályok mechanikai tulajdonságainak magyarázatára. A kvantummechanika alapján magyarázatot nyertek a szilárd testek elektromos, optikai és hőtani tulajdonságai. Ennek a területnek legfontosabb problémája lett az igen nagy gyakorlati jelentőségű félvezetők fizikája. A fémek és ötvözeteik vizsgálata, a szerkezeti röntgenanalízis, az elektronmikroszkópia és a jelzett atomok módszere nemcsak a fémek és ötvözetek atomstruktúrájának meghatározását tették lehetővé, hanem a szerkezeti átalakulások kinematikájának a tanulmányozását is. Nagy sikereket értek el a mágnesség, különösen a ferromágnesség, területén. Fontos volt az antiferromágnesség, a ferritek és a ferroelektromos anyagok felfedezése. A 20.sz. második negyedében nagyot fejlődött a makromolekuláris vegyületek elmélete.

Nagy jelentőségre tett szert az alacsony hőmérsékletek fizikája. A hélium cseppfolyósítása és a szuperalacsony hőmérsékletek technikájának fejlődése lehetővé tette az abszolút nullafok milliomodfoknyi megközelítését. A szupravezetés és a szuperfolyékonyság felfedezése elméletileg és gyakorlatilag egyaránt igen jelentős.

**Laue, Max** (1879-1960)

Felfedezte, hogy a kristályokban az atomok szabályos rácsban helyezkednek el, és ezen a rácson a Röntgen sugarak diffrakciót szenvednek, tehát ezek a sugarak elektromágneses hullámok.

**Mössbauer, Rudolf (1929)**

Felfedezte a visszalökésmentes gamma- emisszió lehetőségét.

**Bogoljubov, Nyikolaj (1909-1990)**

Megmagyarázta a szuperfolyékonyság okát.

Kifejlődött a centiméteres és milliméteres hullámok rádió-fizikája, a rádiólokáció, a rádiócsillagászat és a rádió meteorológia. A rádiótechnikai, pontosabban elektronikai berendezések, a nagy sebességű jelenségek és a magfolyamatok vizsgálatának fontos eszközeivé váltak. Különleges jelentőségű az elektroncsövekkel, majd később a félvezető alkatrészekkel működő elektronikus számítógépek megjelenése.

Nagy eredmények születtek az optikában. A spektroszkópia módszerei fontos alkalmazást nyertek a természettudományok több ágában és a technika területén. Létrejött a lumineszcencia elmélete, aminek alkalmazása igen nagy jelentőségű a gyakorlatban. Felfedezték a Raman- jelenséget és a Cserenkov-sugárzást.

**Gábor Dénes (1900-1979)**

Felfedezte a holográfiát.

Újra érdeklődéssel fordultak az akusztika felé, az ultrahanggal, a rádióadással, az építéssel és a zeneeszközökkel kapcsolatban. Hatalmasan fejlődött az elektroakusztika.

A statisztikus fizikában, főleg a fázisok átalakulásának elméletében, a fluktuáció elméletben, a fizikai kinetikában, a transzverzális rezgések általános elméletében, a felületi jelenségek, a gázkisülések fizikájában és sok más területen jelentős eredményeket értek el.

Rendkívül kiterjedt ipari és tudományos kutatás irányult a magfolyamatok tisztázására. A magfizikához szorosan kapcsolódott a kozmikus sugárzás tanulmányozása is. Mindezek olyan technikai forradalomhoz vezettek, amelyek nagyon pontos új kutatási módszereket hoztak létre, nemcsak a fizikában, hanem a kémiában, a biológiában, a geológiában, a technika és a mezőgazdaság legkülönbözőbb területein.

A legutóbbi időkben fellendült a plazma kutatása, aminek a szabályozott termonukleáris reakció megvalósításában van fontos szerepe. Becslések szerint a világegyetem anyagának 99 plazmaállapotban van.

### **A fizika és a technika.**

A fizika a technika szükségleteiből nőtt ki, s annak tapasztalatait szakadatlanul

alkalmazza; a termelés igényei nagymértékben meghatározzák a fizikai kutatások tematikáját. Másrészt viszont a technikának nagyrészt a fizika az alapja, legalábbis a reneszánsz óta. A fizikai laboratóriumokban a technika új ágai, s a technikai feladatok megoldásának új módszerei keletkeznek. Elegendő utalni az elektromos gépekre, a rádiótechnikára és az alkalmazott elektronikára. A fizika által kidolgozott félvezetőket mind szélesebb körben alkalmazzák a technikában, az automatikában, a távirányításban. A beláthatatlan technikai távlatú felfedezés tipikus példája a léser. Ez olyan indukált emisszió alapuló fényforrás, amely szinte teljesen monokromatikus sugárzás formájában igen nagy teljesítmény leadására alkalmas. A 19.sz.-ban a fizikai felfedezés és első műszaki alkalmazása között évtizedek teltek el, manapság viszont ez az idő néhány évre rövidült. A fizika és a technika fejlődése kölcsönösen összefügg. A fizikai kutatási módszerek minden természettudományban döntő jelentőségre tettek szert. Az elektronmikroszkóp, majd az alagútmikroszkóp sok nagyságrenddel túlszárnyalt azon a határon, amelyet a kutatás optikai módszerei állítottak fel, és lehetőséget adott az egyes makromolekulák, sőt az egyes atomok megfigyelésére is. A röntgenanalízis közvetlenül feltárta az anyag atomos felépítését és a kristályok szerkezetét. A spektrálanalízis a geológiai és a szerveskémiai kutatások hatásos eszközének bizonyult. A tömegspektrográf az atomok és molekulák tömegét soha nem látott pontossággal méri. A rádiótechnikai és oszcillográfiai módszerek lehetővé teszik a másodperc milliomod és milliárdod része alatt végbemenő folyamatok megfigyelését. A kémiai elemek és az egyes atomok változásának megfigyelését a rádióatkív iztópok teszik lehetővé, amelyek a kutatás minden területére behatolnak. Az atomsugárzás megváltoztatja a biológiai folyamatok lefolyását és az örökletes tényezőket.

Mindezek az eljárások messze túljutottak a közvetlen érzékelés határain. Az elektronikus számítógépek annyira bővítették a matematikai számítások lehetőségeit, hogy a legbonyolultabb jelenségek is, amelyeket a különböző tényezők százai befolyásolnak, pontosan és gyorsan számításba vehetők.

### **A fizika és a természettudományok.**

A fizika jelentősége a természettudományok minden ágában jelentősen megnőtt. A relativitáselmélet és az atomfizika megvetette alapjait a csillagászat legfontosabb ágának, az asztrofizikának. A kvantumelmélet a szerves és szervetlen kémiai reakciók elméletének alapja lett. A fizika és kémia határterületén fejlődött ki a fizikai kémia. Az atomfizika a geológiai koncepciók elidegeníthetelen részévé vált.

### **A fizika az ezredfordulón.**

A fizikai kutatások frontvonala a harmadik évezred küszöbén különleges helyzetben

van, amelynek fő jellemvonásait az alábbiakban fogalhatjuk össze. Van két standard modell, az egyik a mikrokozmoszé, a másik a makrokozmoszé. A két modell érdekes módon nem különül el, sőt szorosan összekapcsolódik. A mikroszkópikus világot vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a korábban eleminek mondott, fundamentális részecskék két nagy csoportra oszthatók: vannak a Pauli-féle kizárási elvnek alávetett, feles spinű részecskék, a fermionok. Ezek tekinthetők az anyag tulajdonképpeni építőköveinek, míg az egész spin részecskék feladata az ezek közötti kölcsönhatás közvetítése, ezek tulajdonképpen a kötőanyag szerepét játsszák. A fermionok három jól elkülöníthető családba rendeződnek: mindegyik család két kvarkból és két leptonból áll.

Fermionok (spin=1/2)

$\nu_e \nu_\mu \nu_\tau \quad e^- \mu^- \tau^- \quad ust \quad dcb$

A Standard Modell az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatást egyesíti, és ezeket az elektrogyenge kölcsönhatássá olvasztja össze. Az elmélet leglátványosabb sikere az elektrogyenge kölcsönhatást közvetítő részecskéknek, a  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  vektor-bozonok létének és tömegének megjósolása, majd kísérleti igazolása. A kvarkok közötti erős kölcsönhatás leírását a kvantum-kromodinamika (QCD) szolgáltatja. Az erős kölcsönhatás szempontjából a leglényegesebb az a tény, hogy a kvarkok egy, az elektromos töltéshez hasonló, u.n. erős töltést hordoznak és a kölcsönhatás úgy jön létre, hogy a kvarkok gluon tereket hoznak létre és ezek kvantumai, a gluonok cserélődnek a kvarkok között. Minthogy a kvarkoknak háromféle színe van, azért a gluon nyolcféle "tarkaságú" lehet. A gluonoknak az erős kölcsönhatás szempontjából ugyanolyan szerepe van, mint a fotonnak az elektromágneses kölcsönhatás létrejöttében. A hadronokban (protonokban, neutronokban, mezonokban) ezen, a gluonok által közvetített "színerők" tartják össze a kvarkokat. Az elektromosan semleges molekulák egymáshoz a van der Waals-típusú "maradék" elektromágneses kölcsönhatás közvetítésével kapcsolódnak, ehhez hasonlóan a protonok és a neutronok az ugyancsak van der Waals-típusú "maradék" erős kölcsönhatás segítségével kötődnek egymáshoz. Ez az, amit magerőnek hívunk, és ez az, amit Yukawa a  $\pi$ -mezon közvetítéssel zajló nukleáris kölcsönhatásként értelmezett. Van azonban egy súlyos fogyatékoság: a Standard Modellben fel kell tételezni hogy léteznek u.n. Higgs-bozonok. Ezek a bozonok, a Higgs-tér kvantumai, a felelősek a gyenge kölcsönhatást közvetítő  $W^+$ ,  $W^-$  és  $Z^0$  vektorbozonok tömegéért. Viszont a Higgs-bozonok létét eddig még nem sikerült kimutatni. Úgy tűnik, hogy az az út, amely pusztán szimmetria megfontolásokkal a kvantum-elektrodinamikából (QED) az elektrogyenge kölcsönhatáshoz, illetve a kvantum-kromodinamikához (QCD) vezetett, tovább követhető a nagy egységesítés elméletéig (GUT= Grand Unified Theory).

**Weinberg, Steven (1933)**

Abdus Salammal megalkotta az elektrogyenge kölcsönhatás elméletét.

## 6. Asztrofizika

### A Nap bolygói

**Merkur** Nincs légköre  
Nincs rajta víz  
A kráterek megmaradtak  
Alig nagyobb mint a Hold  
A perihélium elvándorlás megfigyelhető

**Vénusz** Est-hajnal "csillag" .  
500°K hőmérséklet  
Nagynyomású atmoszféra  
Savas esők és felhők  
Átláthatatlan

### Föld

**Mars** Ellipszis pálya (Kepler)  
Légköre van  
Víz van rajta  
Élettelen  
Mars járó

**Jupiter** 16 Holdja van  
4 holdat Galilei már látott  
Römer Olaf ( fénysebesség mérés  
Nincs szilárd kérge, sűrűsödik

**Szaturnusz** Gyűrű rendszer (1 km vastag)

**Uranusz** Majdnem a Nap felé néz a forgástengelye.

**Neptunusz** 8 holdja van  
1846-ban az elméletileg kiszámított helyen  
találták meg.

**Plutó** 1930-ban fedezték fel  
kisebb mint a Hold

## Az Upsilon Andromedae bolygói

1999. április 15-én jelentették be 11 évi megfigyelés után, hogy a 44 fényévnire (26410<sup>12</sup> km) lévő Upsilon Andromedae nevű csillagnak létezik három bolygója. A San Francisco State University és a Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics kutatói egymástól függetlenül jutottak a következő eredményekre:

	Tömeg/M Jupiter	sugár	"év"
Föld	0.003		1 év
Jupiter	1		
A	0,72	< R Merkúr	4.6 nap
B	2	> R Vénusz	
C	4	> R Mars	

Nincs szilárd felületük. (Barna törpék?) A középponti csillagot már 1996-ban felfedezték.

**Bethe, Hans** (1906-)

A csillagok energiatermelése

**Bay Zoltán** (1900-1992)

Távolságmérés radarral

**Chandrasekhar, Subrahmanyan** (1910-1995)

Fehér törpék, neutron csillagok, fekete lyukak

**Hubble, Edwin** (1889-1953)

Extragalaxisok felfedezése.

A galaxisok távolodása egymástól.

**Gamow, George** (1904-1968)

Ősrobbanás. Táguló Univerzum. Háttér sugárzás.

### Táguló Univerzum.

A makrokozmoszra vonatkozó standard modell két pilléren nyugszik. Az egyik a Hubble-féle megfigyelés, miszerint a galaxisok vöröseltolódást mutatnak, ami a Doppler-elv alapján azzal értelmezhető, hogy tőlünk távolodnak, sőt mennél távolabb vannak, annál nagyobb a távolodási sebességük. A másik pillér az általános relativitáselméletből származik. Friedmann 1922-ben megállapította, hogy az Einstein-féle egyenleteknek, homogén és izotróp anyageloszlás esetén nincs sztatikus megoldása: tetszőleges két pont távolsága az idő függvényeként változik. E két pillérre építette Gamow az Ősrobbanás, a Big Bang gondolatát, miszerint egy véges idővel ezelőtt történt egy robbanás és az Univerzum ezen véges idő óta tágul és az anyag "úszik" a tér hátán, minden pont távolodik minden más ponttól. Az Ősrobbanás idején az anyag egy igen kis térfogatban volt található, ahol extrém nagy hőmérséklet uralkodott. A tágulás során az anyag lehül és eközben változatos fázisátalakulásokon

megy át. Az egyik utolsó ilyen átalakulás abból állt, hogy az elektronok és az atommagok semleges atomokká kombinálódtak. Az akkor jelenlevő T hőmérsékletű elektromágneses sugárzás lényegében függetlenné vált a semleges anyagtól és azóta csupán annyi változáson esett át, hogy az Univerzum lineáris tágulásával arányosan növekedett a hullámhossza. Ez azt jelenti, hogy ez az u.n. háttérsugárzás ma is jelen kell, hogy legyen, csupán a T hőmérséklet csökkent le. Más szóval az Univerzum úgy 100 000 éves korában, amikor még 5000 K körüli hőmérsékleten volt, a semleges atomok létrejötté után, "áttetszővé" vált. Az ekkor jelenlevő egyensúlyi sugárzás hűlt le az Univerzum kiterjedése miatt 2.75 K fokra. Az Ősrobbanásra alapozott elképzelés a megfigyelésekkel összhangban van. A világegyetem könnyű elemeinek (H, He, Li) relatív koncentrációja kielégítő módon értelmezhető. Igen figyelemre méltó az a tény, hogy Wilson és Penzias valóban megtalálta azt a Planck-féle spektrummal rendelkező 2.75 K fokos háttérsugárzást, amit Gamow jósolt meg. Az Univerzum életkora  $13.610^9$  év, ami a tágulási együttható (Hubble-konstans)  $75\text{km/sMpc}$  lineáris visszavetítéséből ered (Hubble-kor). Ez jól egyezik a geológiai eredményekkel.

Jelenleg az Ősrobbanás elméletének a továbbfejlesztése, a Hubble-féle állandó pontosítása, a gravitációs hullámok kísérleti kimutatása és a háttérsugárzás anizotrópiájának finomabb feltérképezése az, amire a legnagyobb figyelmet összpontosítják. A kozmológia és a részecskefizika egymásra vannak utalva: a részecske fizika nélkül az Ősrobbanás utáni fázisátalakulások nem érthetők meg, és a kozmológia megfigyelések nélkül a részecskefizikai modellek helyessége nem igazolható. A makrokozmosz problémája, vagyis az Univerzum keletkezésének és fejlődésének problémája, valamint a részecskefizika problémája egymással szétszakíthatatlanul egybefonódott és csak együtt oldható meg. A feladat megoldásának előfeltétele a gravitációs kölcsönhatás elméletének beépítése a kölcsönhatások egységes elméletébe. Ez a kulcsprobléma.

## **VI. A jövő fizikája (2000-.....)**

### **1. Alkalmazott fizika**

Elektronika, kvantumelektronika.

### **2. Statisztikus fizika**

Nemlineáris jelenségek

### **3. Szimuláció**

### **4. Kvantumgravitáció**

### **5. A Nagy Egyesített Elmélet**