

## Bevezetés

Amíg az érettségiig eljutunk, tanulmányaink során igen sok és sokféle állítással, törvénnyel, képlettel, definícióval, tétellel, elmélettel, hipotézissel találkozunk a különböző tantárgyak keretén belül. Ezek hatalmas anyagként gyűlnek fel, s nem könnyű tájékozódni közöttük, noha éppen arra vannak hivatva, hogy valamiféle rendet teremtsenek ismereteink között, megfogalmazzák mindazt, ami közös, egységes, általános a világegyetemben vagy annak egy részében. Törvényekkel találkozunk a társadalom, az állati és növényi szervezetek életében, az élettelen anyag világában, és bizonyos törvények vannak az irodalomban, művészetben, zenében is. Középponti szerepet tölt be itt a matematika, amelynek általános és elvont törvénye; a legkülönbözőbb területeken működő tudományok tételeinek mennyiségi megfogalmazására alkalmasak, és így félreérthetetlenül és pontosan kifejezik e törvények tartalmát. Gondolkodásunkat a logika törvényei vezetik, így azok a mindennapi élettől a tudományos következtetésig elkísérnek minket.

Célunk az, hogy áttekintsünk a fogalmak és törvények világán, figyelmünket elsősorban a fizika törvényeire irányítva, s miután kiemeltük néhány jellegzetes tulajdonságukat, összefoglaljuk az azokkal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat.

Mivel fogalmakról és az azokat összekapcsoló törvényekről lesz szó, célszerű néhány, ezekkel összefüggő alapvető fogalmat tisztáznunk, hogy a félreértéseket elkerüljük. (Az alábbiakban adott meghatározások egyszerűsítettek, bővebb kifejtésükkel az irodalomban sokfelé találkozhatunk.)

### Fogalom, definíció, alapfogalom. Tétel, bizonyítás, alaptétel (axióma)

*A fogalom fogalma.* Környezetünk, a világ megfigyelt része sokféle dologgal, jelenséggel, helyzettel, kapcsolattal, történéssel vesz körül minket, amelyeknek nemcsak szemlélői, hanem magunk is részesei vagyunk a bennünk végbemenő folyamatokkal együtt. Mindezeket a dolgokat stb. érzeinkkel tapasztaljuk, elménkkel felfogjuk, megőrizzük, gondolkodásunkkal kapcsolatokat keresünk közöttük, tehát tudatunkban többé kevésbé tükröződik mindaz, ami tőlünk függetlenül is megvan az anyagi világban: maguk a dolgok és a köztük levő kapcsolatok. Az egyedi dolgok sokasága leegyszerűsödik értelmünk számára, hiszen felfedeztünk hasonlókat közöttük, amelyek lényeges tulajdonságaikban megegyeznek, s így nem mint különféleket tartjuk számon, hanem egyetlen fogalom alá csoportosítjuk azokat. Ezek az egyetlen fogalommal jelölt, mégis különféle dolgok sokban különbözhetnek egymástól, de számunkra – bizonyos szempont alapján – lényeges tulajdonságaikban megegyeznek. Éppen ezeknek a lényeges tulajdonságoknak a közös volta választja ki azokat a hozzájuk nem tartozó dolgok végtelen halmazából. *A fogalom gondolati forma, amely a dolgok, jelenségek közös, lényeges jegyeit tükrözi vissza.* Számunkra a továbbiakban ez egy lényeges kérdést vet fel: hogyan kell egy fogalmat megadni (hogyan például beszélhessünk róla)?

*A meghatározás vagy definíció* éppen ezt a gondolati műveletet jelenti. *Egy fogalmat meghatározni azt jelenti, hogy megadni (felsorolni) azokat a lényeges jegyeket, tulajdonságokat, amelyek közös azokban a dolgokban ill. jelenségekben, amelyeket éppen ezen tulajdonságok alapján akarunk kiválasztani a többi közül* (definitív tulajdonságok). (A logika szerint megadjuk a *legközelebbi nemet*, vagyis a legközelebbi magasabb osztályt, amelyhez a fogalom tartozik és a fogalmat jellemző *sajátos faji különbséget*.) Például: a kör a sík azon pontjainak mértani helye, amelyek egy adott ponttól egyenlő távolságra vannak. Itt a kör fogalmát adtuk meg (definiáltuk) azzal, hogy minden lényeges tulajdonságát felsoroltuk és más tulajdonságokat nem, pl. nagyságra, térbeli helyzetre stb. vonatkozó mellékes tulajdonságokat. (Más tulajdonságok is lényegessé válnának az előzőek mellett, ha pl. a délköröket definiálnánk.) A lényeges tulajdonságok összessége adja a fogalom tartalmát. Számunkra fontos még annak kiemelése, hogy ezek a tulajdonságok maguk is fogalmak! S így a meghatározás valamely fogalom tartalmát más, már ismert fogalmakra (azok tartalmára) vezeti vissza. Ebből nyomban következik, hogy a felhasznált fogalmak szempontjából is lényeges, ismerjük-e pontosan a tartalmukat. Ha azokat is definiáltuk, akkor nyilván ismerjük. Erre törekszünk is. Világos azonban, hogy a végtelenségig nem folytathatjuk a fogalmak más fogalmakkal való meghatározását, mert előbb-utóbb kifogyunk a még fel nem használt fogalmakból. Ezért – a józan ész követelése szerint – a „pontosan ismert” fogalmak közé sorolunk egy sereg olyan fogalmat, amelyet egyáltalán nem definiálunk, hanem egyszerűségük, szemléletességük alapján mindenki számára ismertnek tételezünk fel. (Persze minél kevesebb ilyen fogalmat kell használnunk, annál kisebb a félreértés lehetősége, annál „egzaktabb” a felépített fogalomrendszer.) Például: a kör esetében a mértani hely, adott pont, távolság fogalmát szintén definiálhatom, a így újabb fogalmak: egyenes, pont, sík, illeszkedés, hossz stb. kerülnek be a definícióba, de ezek már egyszerű, a szemlélet alapján ismertnek tekintett fogalmak, körülményes és erőltetett lenne definiálni ezeket, s ha meg is tennénk, nem egyszerűsödnek, csak bonyolódna a dolog. *Azokat a fogalmakat, amelyeket szemlélet alapján ismertnek fogadunk el (más fogalmak definíciójához), alapfogalmaknak nevezünk.*

A törvények (tételek) területén bizonyos értelemben hasonló a helyzet. A tétel (megfogalmazott törvény) abban különbözik a fogalomtól, hogy amíg a fogalom a tárgyak lényeges tulajdonságait (jegyeit) foglalja össze, addig a tétel a fogalmakkal kapcsolatban *állítást is tartalmaz*. (Pl. a kör húrjai közül az a *legnagyobb*, amely átmegy a kör középpontján.) Az állítás lehet igaz, vagy hamis. (A definíció nem, legfeljebb haszontalan, vagy hibás.) Számunkra fontos, hogy eldönthessük, igaz-e egy állítás, vagy hamis-e. Ennek eldöntése az *igazolás (bizonyítás)* vagy cáfolás tatján megy végbe. Az igazolás pedig *következtetéssel* történik (lehet direkt és indirekt úton, mint ismeretes). Ennek során logikai úton a *bizonyítandó tétel igazságát már korábban igaznak elfogadott tétel igazságára vezetjük vissza*. (Erre példát minden olvasó bőségesen ismer.) Azonnal következik, hogy a bizonyításra felhasznált tételek igazságát is valami módon ellenőriznünk kell. Ez újabb bizonyítási eljárással elérhető. Kézenfekvő, hogy sorra bizonyított tételeink egyszer elvezetnek olyan állításokhoz, amelyek bizonyítására nem rendelkezünk további (egyszerűbb) tételekkel, s így lesznek olyan állítások, amelyeket logikai úton nem vezethetünk le. Kérdés, elfogadhatunk-e helyesnek olyan tételeket,

amelyeket nem bizonyítunk „elméleti” úton. A józan ész követelése az, hogy el is kell fogadnunk ilyeneket, ha fel akarunk építeni egy ellentmondásmentes, következetes tudományt (tételek rendszerét). Számos olyan tétel van pl. a geometriában is, amelyek igazságát szemlélet alapján elfogadjuk, mert evidensek, világosan látszik igazságuk (számos esetben alkalmazták, és még senki sem csalódott bennük). Ilyen a geometriában pl. az, hogy két pont egy és csakis egy egyenest határoz meg. Az algebrában az, hogy az összeadás, szorzás kommutatív, asszociatív műveletek.

Egy tételrendszerben természetesen nincs a természet által kijelölve, hogy mely tételeket fogadjuk el alapnak, bizonyítás nélkül. Szabad választási lehetőség van bizonyos mértékig. Az követelmény, hogy a bizonyítandót soha se használják fel, még burkolt formában sem a bizonyításnál. *Az olyan tételleket, amelyeket más tételből nem vezetünk le, hanem a szemlélet alapján fogadjuk el igaznak, alaptételnek vagy axiómáknak nevezünk.* (Ilyenek pl. az euklideszi geometria axiómái.)

A gyakorlat és tapasztalat által ezerszer meggyőzően igazolt alaptételek képezik a tudomány szilárd alapját. Lényeges tisztázni, hogy melyek legyenek ezek a tételek, és hogy függetlenek-e egymástól. Tudjuk, hogy néhány, de még sok konkrét tapasztalat sem bizonyít (a bizonyítás logikai értelmében), mert esetleg egy következő tapasztalat nem lesz egybehangzó az előzőekkel. (Erre is számos példát ismerhet az olvasó.) Hasznos tehát minél kevesebb kizárólag szemléleti alapon elfogadott tételt felhasználni a természettudományok tételeinek rendszerében, inkább minél több olyan tétellel dolgozni, amelynek igazságához logikai belátás útján sem fér semmi kétség. Ezért a tudományok bizonyos (elég magas) fokán az elméleti kutatók azzal kezdtek foglalkozni, hogy meghatározzák tudományuk rendszerének a legszűkebb alaptétel-körét, amelyre biztosan és ellentmondásmentesen felépíthetik – akár kizárólag logikai úton, tehát minden további tapasztalatszerzés nélkül, pusztán levezetéssel – tudományuk minden tételét (Ilyen ellentmondásmentes rendszerek pl. az euklideszi geometria mellett a Bolyai–Lobacsevszkij geometria stb.) A fizikus axiomarendszerének nemcsak az ellentmondásmentesség szabja meg helyességét, hanem az is, hogy a belőlük vont következtetések a tapasztalt természeti jelenségekkel összhangban levő eredményekre vezetnek-e.

### **A megismerés folyamata. A fizikai megismerés**

Az anyagi világ törvényeit maga az anyag határozza meg: *az anyag tulajdonságaiban* vannak törvényei. Ha ezeket meg akarjuk ismerni – hogy felhasználjuk őket – az anyag tulajdonságait kell megismernünk.

A megismerésnek általános törvényei vannak. Ha valamely jelenségről, tárgyról stb. tudományos képet akarunk alkotni, *tapasztalattól kiindulva* először sokrétűen vizsgálni, alkotórészeikre bontani, *analizálni* kell azt, majd a tapasztalatokat egységbe kell foglalnunk, *szintézist* kell végrehajtanunk. Majd amikor megállapítjuk, hogy a konkrétan megfigyelt tárgyakon, vagy eseményeken kívül még milyen tárgyra, eseményekre igaz tapasztalatunk: *általánosítunk*. Ez a folyamat, mivel eltekint a konkrétan vizsgált dolgoktól, csak magukra a lényeges tulajdonságokra és azok közötti összefüggésekre mond ki állítást egy elvonatkoztatásos (*absztrakciós*) folyamat.

A megismerés elsődleges lépése a jelenségek közvetlen vizsgálata: a *megfigyelés* és a *kísérlet*. Számos kísérleti eredmény összegezése útján, ún. *induktív úton* jutunk el a megfogalmazott törvényig, a tételig. A fizikai törvények megfogalmazásának egyszerű és tömör, de legfőképpen pontos lehetőségét a matematika adja, amely függvényeivel, a változó mennyiségek megfelelő egymáshoz rendelésével (pl. képletekkel) félreérthetetlen módon rögzíti állításainkat. Így lehetőség nyílik a matematika logikai lépéseivel új összefüggésekhez is eljutni, *deduktív úton* levezetni új törvényeket. (Pl. a dinamika három törvényéből a mozgásmennyiség megmaradásának tételét, az impulzustételt, a mechanikai energia megmaradásának tételét stb.) Meg kell jegyezni, hogy minden deduktív úton kapott tétel *kísérleti ellenőrzésre* szorul, hiszen az anyagi világ egy *újabb oldalát* világítja meg, s nem tudhatjuk eleve, hogy addig ismeretlen tulajdonságok nem befolyásolják-e kapott új összefüggéseink helyességét.

A fizikai megismerés jellegzetességei az anyag sajátos tulajdonságaiból és a megismert ember helyéből (többek között nagyságrendi helyéből) következnek, hasonlóképpen az a történeti út és módszer, amelyet a fizikai megismerés végigjárt. Az ember méteres nagyságrendjével a mikrovilág méretei és a csillagrendszerek méretei között foglal helyet, mindkettőtől igen távol. Parányi törpe és hatalmas óriás egyben, és ez a két tulajdonsága okozza azt, hogy csak igen körülményesen és nehezen tudja megközelíteni és képes behatolni az anyag szélsőséges méreteinek világába, mert ott óriás, ahol törpének kellene lennie, ahol az elemi részek és atomi képződmények kezdődnek, és ott törpe, ahol óriásnak kellene lennie, hogy áttekinthesse azt, ami a Naprendszerrel kezdődik. S így – mert érzékszervei számára csak a saját nagyságrendjével egyező méretű hatások hozzáférhetők – a közvetlen tapasztalat mellett kísérletek raffiniált kombinációja és azok eredményeinek helyes értékelése: a szellem hihetetlen ereje hozza közel számára a szélsőségesen nagy és kis térségek anyagi világát. Természetes tehát, hogy először a saját nagyságrendjébe eső folyamatokat figyelte meg és vette vizsgálat alá a kutató elme. Nézzük, mi következett ebből.

### **A klasszikus fizika kialakulásának főbb vonásai**

A jelenségekről kialakított képet az ember érzékszervein keresztül szerzett tapasztalataiból állítja össze. A külvilág üzenetei elsősorban a fény, hő, keménység-lágyság, érdesség-simaság, súly, erő érzékelésével jutnak el felismerő tudatunkhoz, amely ösztönös rendező munkájával egységes képbe akarja foglalni a változatos sokféleséget.

Külső, rögtön szembetűnő hasonlóságok és különbözőségek felismerésével már az ókorban megszülettek azok az elméletek, amelyek a dolgok és jelenségek közt felfedezett vagy megsejtett összefüggések alapján rendkívüli módon leegyszerűsítették a látszólag bonyolult világot, és jól megmagyaráztak egy sereg jelenséget. Így született meg pl. a négy őselem fogalma (amelyből a legkülönbözőbb testek összetevődnek), az atom primitív fogalma, a fény látósugár elmélete, a testek természetes és erőszakos mozgásáról szóló tanítás stb. A görög filozófusok már korán észrevették

az anyag szakadatlan mozgását, átalakulását, változását, és felismerték ennek a tulajdonságnak lényeges voltát. Az anyagot föld, víz, levegő és tűz ősalapanyagúnak tekintették (*Empedoklesz* i. e. V. sz.), és az anyagnak oszthatatlan, kis azonos részecskékből álló szerkezetet tulajdonítottak (*Demokritosz*, majd *Platon*, i. e. IV. sz.).

Az ókor természet- és társadalomfelfogása azonban meglehetősen befolyásolta a kialakuló képet, és mire az anyagról alkotott egységes és „hivatalos” kép kialakult, szinte megmerevedett minden. *Arisztotelesz* (i. e. IV. sz.) „Fizika” c. könyvében összefoglalta nézeteit, amelyek két évezredig tekintélyükkel a fizika „sérthetetlen” alapjait képezték. A fizika törvényeinek fejlődéstörténete ezzel a lassú, kétezer éves első lépéssel kezdődött. Hová is vitt ez az első lépés?

*Arisztotelesz* a testeknek a természet által *kijelölt helyet* rendel, amelyet elfoglalva ott természetes állapotukban: *nyugalomban* vannak. Így: a föld-szerű testek vannak legalul, majd ezek fölött a víz-szerű testek, ezek fölött a levegő-szerű testek, végül a tűz-nemű testek legfelül helyezkednek el. Ha a test a számára megfelelő helyen van, akkor nem mozog. A természetben előforduló (tapasztalt!) mozgások magyarázatot nyerne a következőkben. Ha valami nem természetes, erőszakos beavatkozás (erőhatás) éri a testeket, akkor azok átmenetileg nem nekik rendelt helyre kerülhetnek, vagy saját maguknak megfelelő helyen mozoghatnak. Ezek az „*erőszakos mozgások*”. Ha az erő megszűnik, a test azonnal megáll, vagy „*természetes mozgás*”-ba jön: a számára kijelölt helyet törekszik elfoglalni. (A kocsit csak addig mozog, amíg a ló húzza, de a felemelt kő elengedve visszazuhan a levegőből a földre, a víz alól előtörő buborék felszáll, a tűz a levegőben felfelé száll, természetes helyére visszaesve, a csillagok és a Nap és a Hold fenn helyezkedik el.) Ez a sztatikus kép, amely a mozgásban valami természetellenes állapotot lát, tagadja az anyag szakadatlan mozgását és változását, s ezzel nemcsak a fizika alapját képezte bizonyos fejlődési szinten, hanem a társadalom akkori felfogásának és elsősorban uralkodóházainak, egyházi és világi hatalmainak szemléletét támogatta. A kétezer éves lépés lassúságában ennek is szerepe volt.

A fizika ezalatt természetesen nemcsak ennek a részben spekulatív képnek kialakulását jelentette – amely minden hibája ellenére nagyon sok jelenség logikus (de nem valóság, helyes) magyarázatát adta – hanem e mellett a gyakorlati, mondhatni technikai vonatkozású sztatika és az optika hatalmas eredményeket ért el. (*Archimédész* sztatikája, *Euklidesz* tükrökre vonatkozó törvényei.) Számunkra azonban most az anyag *alapvető tulajdonságainak* megismerésével kapcsolatos általános törvények érdekesekek. Ezek felismerésében segített igazi tudományos módszereivel a második lépés. Ez csak háromszáz évig tartott, de többet adott már az első pillanata is, mint a megelőző kétezer év.

*Galileo Galilei* (1564–1642) törte meg a hagyomány és tekintély egyeduralmát szívós és nehéz, de következetes küzdelemben. Eredményeit azáltal érte el, hogy szakított a hagyományos spekulatív okoskodásokkal, amelyek méltatlannak tartottak minden kísérletet, megfigyelést, alkalmazta a tudományos megismerés helyes módszerét: a megfigyelések és kísérletek tapasztalatait induktív úton gyűjtötte össze és fogalmazta meg. Mindenféle elmélet csak a tapasztalat után jöhet. Munkássága akkor még beláthatatlan távlatokat nyitott meg. Ma már kimondhatjuk, hogy ez a második lépés kezdete volt a mai értelemben vett fizika születése. A dinamika alapköveinek lerakásával egyben az egész világegyetemre érvényes, átfogó törvényekre irányította figyelmünket.

A mai fizika legfontosabb törvényét *Galilei* fedezte fel. Ellentétben az arisztoteleszi fizikával, számos kísérlettel vizsgálta a mozgó anyag tulajdonságait, míg felfedezte – a 2000 éves tekintély ellenére – a *testek tehetetlenségét*. Ezzel az anyag egyik igazi tulajdonsága merült fel: a *mozgás*. *Nem kell erőhatás a mozgáshoz*, hanem éppen annak megszüntetéséhez kell erő, általában a mozgás megváltoztatásához! A „természetes állapot” nem a nyugalom többé! Íme, hogy függ össze egy fizikai törvény a szemlélettel, és mennyire fenyegethet egy elavult világnézetet!

És *Galilei* távcsövét az égre irányította. Megpillantotta a Hold hegyeit és völgyeit, és megállapította, hogy az is *olyan, mint egy kődarab*. És mégis fenn van, pedig nem tűz-nemű! Új tények a testek hierarchiáját hirdető régi fizikával szemben! Hirdette és tudományosan magyarázta, hogy a Föld *mozog! Nincs fenn és lenn*, ami szerint a testek eleve orientálódnának! Meglátta a *napfoltokat*, és mozgásukból megállapította a *Nap tengely-forgását*. Felfedezte a Jupiter négy holdját, amelyek körülötte keringenek, mint a Föld a Nap körül. *Íme minden mozog! A szabadesés törvényével* megteremtette a kinematika és dinamika alapjait. Mindezt kísérleti úton vagy megfigyeléssel! Az ő eredményei alkották a mai fizika alapját.

Mielőtt tovább mennénk, olvassunk el két rövid idézetet, amely fényt derít a kor szellemére és *Galilei* fásarzó munkájának erkölcsi értékére. *Francesco Sizzi*, az arisztoteleszi iskola híve így okoskodott:

„A bolygók szabad szemmel nem láthatók, tehát nem lehetnek hatással a földi dolgokra, éppen ezért semmi hasznuk, s ezért nem is léteznek. Ezen felül a zsidók s más régi népek, valamint a modern európaiak elfogadták; hogy a hét 7 napból áll. Ezeket a hét bolygóról nevezték el. Ha a bolygók számát növeljük, ez az egész rendszer összeomlik.”

*Galilei* egyik levele Keplerhez:

„Drága Keplerem, de szeretném, ha együtt kacaghatnánk egy jót, szívből jövőt! Itt Páduában a filozófia első professzora, akit ismételtelen felszólítottam, és sürgősen kértem, hogy távcsövemen át vessen egy pillantást a Holdra és a bolygókra, makacsul visszautasítja ezt. Miért is nem vagy itt? Micsoda hatalmas nevetésben törhetnénk ki e dicsőséges ostobaság felett! S csak hallani kellett volna a pisai egyetem filozófia tanárát, amint a nagyherceg előtt logikai érvekkel vesződött, mintha mágikus varázsigékkel le lehetne bűvölni az égről az új bolygókat.”

A fizika fejlődése el kellett, hogy jusson abba a szakaszába, ahol már deduktív tudománnyá is válhat: tétéleinek biztossága és egzaktága új jelenségek levezetését, megjósolását teszi lehetővé. Erre a fokra fejlesztette *Newton* (1643–1727) a fizika tételrendszerét. Íme beérték a kísérleti eredmények! *Newton Galilei, Leonardo da Vinci* és mások

tapasztalatai alapján összefoglalta a fizika alaptörvényeit, és egyedülálló érdeme, hogy meghatározta azokat az alaptételeket, amelyeket *axióma* rangjára emelt, s így *megteremtette a mechanika szilárd alapjait*. Kezében a törvények nagy horderejűvé válnak: megtanítanak jóslni. Megtanít a mozgástörvények felírására, a mozgásegyenletek megoldására, s így az idő függvényében megadott mennyiségek (gyorsulás, sebesség, út stb.) jelenlegi értékéből tetszőleges jövőbeli értékére következtethetünk! Meg tudjuk jóslni, hogy adott erők és kezdősebesség hatására adott idő múlva hol lesz a test, mekkora sebességgel rendelkezik! És az óriási mennyiségű tapasztalati adat alapján megállapított bolygómozgás törvényeire megadta a magyarázatot is, melyet addig hiába kerestek! Felfedezte az *általános gravitációt*. A szabadesést dinamikailag *megmagyarázta*.

Csodálatos távlatok! Most már nem kell mást tenni, csak minden előforduló esetre felírni a mozgásegyenletet és megoldani. *A mechanika minden problémáját elöbben megoldotta*. Jövőre és múltra állításokat tud levezetni. Csak meg kell keresni az erőtörvényt minden adott esetre. Pl.:  $ma = P$  (konstans) egyenletesen gyorsuló mozgás,  $ma = -ky$  (ahol  $y$  a kitérés) a rezgőmozgás,  $ma_n = mv^2/r$  a körmozgás,  $ma = O$  az egyenesvonalú egyenletes mozgás,  $ma = \mu P_n$  a súrlódó csúszás,  $ma = kt$  az idővel arányos erő hatására létrejövő mozgás stb. esetén.

Persze a helyzet kissé *bonyolódik*, ha több testből álló rendszer mozgását kell felírni, vagy ha több test folyamatos egymásrahatása közben történő mozgást vizsgálunk. Ilyenkor annyi egyenlet kell, ahány testről van szó, és ráadásul az erők a testek bonyolult pillanatnyi helyzetétől is függenek. Megoldásuk rendkívüli nehézségekbe ütközik. Elvileg mégis nagy jelentősége van ezeknek a mozgástörvényeknek.

*A gyakorlat azonban megköveteli a feladott problémák megoldását*, és ezért újabb próbálkozások születtek a jelenségek leírására. Alaptörvényeinkből további tételeket vezettek le és segédfogalmakat alkottak, amelyekkel számos olyan problémát is könnyűszerrel megoldhattak, amelyeket a dinamika három törvényével gyakorlatilag kilátástalan lenne megoldani. E téren a *mozgásmennyiség és energia* fogalma vált igen hasznossá. Ezekkel a fogalmakkal az anyag újabb oldalát tudjuk megvilágítani, újabb tulajdonságai merülnek fel vizsgáló tekintetünk előtt. A dinamika törvényeiből könnyűszerrel levezethető egy összefüggés, amely a több testből álló rendszer egyes tagjainak mozgásmennyisége összegére mond ki jelentős összefüggést. Ez az összefüggés a *mozgásmennyiség megmaradásának tétele*. *A munka és az energia*, valamint a *teljesítmény* fogalmával ismét más oldalról tudja jellemezni a fizikus a testeket és folyamatokat. Az energiára (munkavégző képességre) vonatkozólag a dinamika három axiómájából levezethetjük a *mechanikai energiamegmaradás törvényét*. Jellemzője e két említett tételnek, hogy a folyamatok *kezdő és végállapotára* vonatkozó kijelentést tartalmaz, és nem világosít fel a folyamat részletes lefolyásáról, *figyelman kívül hagyja* a pillanatnyi erőhatások, gyorsulások, sebességek, helyzetek változását, de biztossággal *megmondja*, hogy (az esetleg igen bonyolult) rendszer vagy test milyen energiaállapottal, mozgásmennyiséggel, vagyis helyzettel, sebességgel jellemezhető a folyamat végén. És a gyakorlatban legtöbbször ez is elég. Ezeknek a törvényeknek nemcsak gyakorlati szerepük van, hanem nagy elméleti jelentőségük is. *Általános természettörvények*, amelyek az anyag minden mozgását, folyamatát leírják, meghatározzák. Ahogy a dinamika törvényeivel íróasztal mellől kiszámították egy bolygó létezését, amit egy másik bolygó „rendellenes” mozgásából vettek észre (*Neptunusz, Uránusz*), úgy lett képes a tudomány az energia és impulzus törvényeinek felhasználásával megjósolni elemi részecskék egy sorának létezését. Itt találkozunk az elmélet és a gyakorlat.

Látjuk, hogy ez a második lépés, bár időben rövid, mégis hatalmas, eredményeit tekintve. Jellemző rá a *kísérlet, gyakorlat döntő szerepe az induktív és deduktív következtetések egymást kiegészítő módszere*. *Galilei és Newton* mechanikája csodálatos magaslatokra jutott.

Közben folytak a kísérletek és megfigyelések más téren is. Az elektromosság, mágnesség, hő és ismét a fény állandóan újabb szenzációs tapasztalatokkal bővítette a testek tulajdonságáról alkotott képünket. Az iránytű, a dörzsölt ebonitrúd, az áramló elektromosság, az izzított testek egy sereg új felfedezéssel és törvénnyel gazdagították a fizikát, amelyek alkalmazásával a technika is hatalmas fejlődésnek indult.

És valahogy úgy történt, hogy a második lépés, amit *Galilei és Newton* kezdett el, túl nagyra sikerült. A mechanika lenyűgöző sikerei olyan rangra emelték a mechanikát, amelyet nem volt hivatva betölteni. Az történt ugyanis, hogy a mechanikai mozgásokra kiválóan bevált fogalmakat és törvényeket át akarták vinni az összes többi természeti jelenségre: az elektromos, fény-, hang-, hő-jelenségeket megpróbálták visszavezetni tisztán mechanikai hatásokra. Egy jelenséget akkor „értettek” meg kimerítően, ha meg tudták adni a mechanika modelljét, sőt, mechanikai erők, kényszerek stb. alapján történő magyarázatát. Ez számos esetben sikerült is. A mechanikai magyarázat lehetőségében való hitet csak megerősítette az a felfedezés, hogy a hő-jelenségeket az anyag molekuláinak mechanikai mozgásával szoros kapcsolatba tudták hozni. Itt megállunk egy kicsit, és a fogalmak és törvények egy bizonyos újabb típusáról mondunk valamit.

Az anyag atomos elmélete, a molekuláris szerkezet és a hőjelenségek közti összefüggés, a *kinetikus gázelmélet* különös kapcsolatba hozta az új tapasztalati törvényeket a régiekkel, a dinamika alaptörvényeivel. A különféle halmazállapotú anyagok hőmérsékleti, nyomás- és térfogatviszonyait nem írják le a dinamika alaptörvényei (a pontmechanika három axiómája). Újabb fogalmak kerültek a *tömeg, erő, sebesség, gyorsulás, mozgásmennyiség* mellé: *nyomás, hőmérséklet, sűrűség, rugalmassági együttható, dielektromos állandó* stb. Mi a különbség ezek és az előző fogalmak között? Amíg az első csoport fogalmai anyagi pontokra, (pl. egyetlen atomra) és pontok rendszerére egyaránt alkalmazhatók, addig az utóbbi csoport fogalmai *kizárólag makroszkopikus testre, molekulák, atomok igen nagy halmazára* értelmezhetők (makroszkopikus fogalmak, mennyiségek). Nem beszélhetünk egyetlen molekula nyomásáról, súrlódási együtthatójáról, hőmérsékletéről stb. Ha a testek tulajdonságait (Gay-Lussac és a Boyle-Mariotte törvény) a rugalmas deformációra vonatkozó Hooke törvény, a súrlódás törvénye, a hővezetés, felmelegedés, lehűlés stb. az anyag újabb és újabb tulajdonságairól adnak felvilágosítást. Hogy viszonylanak ezek a törvények a dinamika axiómáihoz? Ennek szép példáját

látjuk a hőtanban. Ezekkel az új fogalmakkal együtt *újabb tapasztalati törvényeket* (és így axiómákat is) kell keresnünk és bevezetnünk, mert a dinamika axiómái nincsenek kapcsolatban ezekkel a fogalmakkal. (Legalább is az első pillanatra úgy tűnik.) A termodinamika fel is építi axiómarendszerét, amellyel helyesen le tudja írni a hőjelenségekkel kapcsolatos törvényeket. Így jutunk el pl. ahhoz a megállapításhoz, hogy adott gáz térfogatának és nyomásának szorzata állandó hőmérsékleten állandó, vagy, hogy a nyomás lineáris függvénye a hőmérsékletnek stb. Bevezeti a *hőmennység*, *fajhő* fogalmát, és meghatározza a hőmérsékletváltozás, fajhő és tömeg függvényében a hőleadás mértékét. A fejlődés során felmerült egy titokzatos fogalom a „hőanyag”, amellyel a testek hőátadását kívánták magyarázni mechanikai közvetítő segítségével. Ennek a színtelen, szagtalan, súlytalan „hőfolyadéknak” anyagtan élete tarthatatlan volt a tudományban, és így mechanikai kép nélkül kellett elfogadni egy sereg jelenséget. A Brown-féle mozgás és a hőmérséklet kapcsolata azonban megerősítette a fizikusokat abban az elképzelésben, hogy a testek hőjelenségei az atomos-molekuláris szerkezettel, tehát a mechanikai képpel vannak összefüggésben. Egybehangzó tapasztalatok megmutatták, hogy a testeket alkotó *molekulák rendezetlen mozgásából* származó sebessége kapcsolatban van a test (mint makroszkopikus objektum) *hőmérsékletével*. A termodinamikában bevezetett *hőmennység* fogalma pedig *energiaátadással* kapcsolatos, és a testet alkotó molekulák rendezetlen mozgásából származó energiájához, valamint a molekulák potenciális energiájához van köze. Így megszületett a *molekulárkinetika* vagy kinetikus gázelmélet. E szerint a makroszkopikus testek viselkedése, tulajdonságai leírhatók atomjaik mozgásának segítségével, minden makroszkopikus mennyiség visszavezethető a molekulák dinamikájára, végső soron a *dinamika három tételére*. Így sikerült kiküszöbölni a „titokzatos” mechanikán-kívüli hatásokat, és visszavezetni a hőjelenségeket is a mechanikára.

Persze ennek ára van. Egy edénybe zárt gáz, vagy meghajlított rúd jellemzésére annyi egyenletre volna szükség, ahány molekulából áll. Ennek már csak a felírása is kilátástalan feladat.

Van azonban a matematikának egy olyan módszere, amely segítséget nyújt a fizikusnak, aki most nem tudja, hogy örüljön-e, vagy megrettenjen felfedezésétől. A módszer olyan, hogy biztosítja az *egyres molekulákra jellemző* (azokra is értelmezhető) *dinamikai fogalmak használatát*, mégis az *egész testre* nézve tesz kijelentést, fogalmaz meg törvényeket. És ez a módszer a *statisztika*. Ebben a nagy számok törvénye alapján olyan átlagokat keresünk, amelyek kielégítően jellemzik a molekulahalmazt. Nyilvánvaló, hogy az így kapott törvények szerkezete eltér a dinamika törvényeinek szerkezetétől: *valószínűségi jellegük* van. (Három, öt, száz molekulára nem mondanak semmit, de akár egy köbmilliméterben elférő molekulák együttesére már teljes biztonsággal elfogadható, helyes eredményt adnak. Minél több a részecskék száma, annál „igazabb” az ilyen törvény.) Tehát a termodinamika (ún. leíró, fenomenologikus) törvényeit a molekulárkinetika statisztikus jellegű, de a dinamika axiómáira visszavezethető tételeivel helyettesíthetjük. Ezek természetesen azonos eredményre vezetnek. Pl. a  $pV = \text{const.}$  összefüggést le lehet vezetni abból, hogy az edénybe zárt molekulákat egyformáknak, rugalmasan ütköző pontszerű testeknek tekintjük, amelyekre érvényes az impulzustétel. Ha feltételezzük, hogy átlagban minden irányban egyenlő számú molekula repül a gázban egyforma átlagos sebességgel, akkor az edény falán történő ütközéskor átadott impulzusból a felületre időegység alatti mozgásmennyiség-változás, ebből a nyomás kiszámítható.

Álljon előttünk ez a példa. Legyen egy  $l_1, l_2, l_3$  élű hasámban elzárva  $N$  számú gázmolekula, melyek átlagsebessége  $\bar{v}$ . Számítsuk ki az  $l_1 \cdot l_2$  területű falra gyakorolt nyomást.  $P = \frac{\Delta m \bar{v}}{t} = \frac{2m\bar{v}}{t}$ , és két ütközés között eltelt idő  $t = \frac{2l_2}{\bar{v}}$ .  $N$  számú molekula közül  $\frac{N}{3}$  halad  $l_3$  éllel párhuzamosan. Így, amíg minden molekula egyszer ütközik a falba,  $\frac{N}{3} \cdot 2m\bar{v}$  az összes impulzus átadás. A falra ható erő:  $P = \frac{N}{3} \cdot \frac{2m\bar{v}}{t} = \frac{N}{3} \cdot \frac{2m\bar{v} \cdot \bar{v}}{2l_2}$ , és a nyomás  $p = \frac{N}{3} \cdot \frac{2m\bar{v}^2}{2l_1 \cdot l_2 \cdot l_3}$ . Ha  $l_1 \cdot l_2 \cdot l_3 = V$  térfogat, akkor:  $p = \frac{2}{3} N \cdot \frac{1}{2} \frac{m\bar{v}^2}{V}$ , vagy:  $p \cdot V = \frac{2}{3} N \frac{m\bar{v}^2}{2}$ , ahol a jobboldal állandó hőmérséklet esetén konstans, vagyis a Boyle - Mariotte törvényt megkaptuk a dinamika törvényeiből.

A Newton-féle mechanika hatalmas eredményei megérlelték a kutatókban azt a vágyat, hogy a fizika minden jelenségét igyekezzenek leírni a mechanika szemléletes fogalmaival, törvényeivel. Ez a törekvés szülte az ún. *mechanisztikus világtkép programját*. Az elektromosságban így került a minden testen áthatoló közvetítő, az éter a középpontba, mint abszolút rugalmas test, amelyben a rugalmas feszültségek mintájára terjedő zavarok az elektromágneses hullámok; így próbálták magyarázni a gravitációt, a fényjelenségeket – sikertelenül. Ugyanis a világ nem mechanikai gépezet. Hogyan derült ki, hogy *a mechanika nem képes megmagyarázni minden fizikai folyamatot?*

Az anyag viselkedését nemcsak mechanikai, hanem többek között elektromos tulajdonságai is meghatározzák. Az elektrodinamika tapasztalati törvényei pedig a *mechanikától idegen erők* létezését is kimutatják. Amíg a mechanikában a testek között csak a helytől függő és centrális (taszító–vonzó) erők működnek (akár a gravitációról, akár rugalmas ütközésről, deformációról van szó), addig az elektromos áramok között fellépő *elektromágneses természetű erő* már nem vonzó vagy taszító, hanem merőlegesen kitérítő hatású, és *nemcsak a távolságtól* és áramló töltések nagyságától függ, hanem pl. a *sebességtől* is! Ilyen nem mechanikai jellegű kölcsönhatások mutattak rá, hogy az anyag újabb tulajdonságai újabb, mechanikára nem visszavezethető fogalmakat és törvényeket igényelnek leírásukhoz!

Ezen a területen, az elektromosság és mágnesség területén *Faraday* (1791–1867) kísérletei és zseniális meglátásai derítették fényt a jelenségek mibenlétére. Ő volt az, aki összekapcsolta az elektromos töltések áramát a mágneses térrel, és a mágneses tér megváltozását a keletkező árammal. Az ő kísérleti eredményeit foglalta össze *Maxwell* (1831–1879) matematikai formulákba, az ún. Maxwell-egyenletekbe. Ezek váltak később az elektrodinamika axiómáivá. A Maxwell-egyenletek az anyag új tulajdonságát írják le, új szemlélet alapján. Amíg a mechanika törvényei az ún. *tá-*

*volhatás* jellegzetes szemléletét tükrözik, vagyis csak a helytől függő, és közvetítő közeget nem igénylő, idő nélküli „terjedő” erőhatásokkal dolgoznak, pl. gravitációs törvény, addig a Maxwell-egyenletek a vezető közvetlen szomszédjában kialakuló és térpontról térpontra véges sebességgel továbbterjedő hatásokról, ún. *közvetlenségről* beszélnek. A Maxwell-féle elméletnek lényegét a középiskolai tanulmányaink során tanuljuk, természetesen leegyszerűsített és nem olyan rendszerezett formában.

Az „axiomatikus elektrodinamika” hatalmas eredménye, hogy felfedezésük előtt megjósolta az elektromágneses hullámok létezését és tulajdonságait, a mai technika és hírközlés egyik alapját. Ez pedig az elektromos és mágneses terek közötti kapcsolatok felfedezésében rejlett. Húsz évvel később *Hertz* (1857–1894) kísérletileg kimutatta az íróasztal mellett megjósolt elektromágneses hullámokat, és így megisméltődött a newtoni dinamikával asztal mellől kiszámított bolygó esete. A Maxwell-egyenletek a mechanikai axiómák mellé felsorakoztak, hogy azoktól független módon újabb, *nem mechanikai természetű oldaláról* írják le a valóságot. Ezzel a mechanikai világnézet programja megbukott. Minden természeti jelenségnek mechanikával való magyarázata nem vihető keresztül. Valamiféle *új szemléletnek* kell tehát átadnia a helyét. És ennek az újnak a felismerése volt a harmadik lépés. Ennek időbeli hossza csak évtizedekben mérhető. Napjainkig tart, de eredményeiről a tudomány szézületes iramú fejlődése adhat képet.

A mérete és nagyságrendje miatt a két szélsőséges területről kirekesztett ember kísérleteivel és megfigyeléseivel tervszerű és szervezett ostrom alá vette a kozmosz és a mikrokozmosz világát. A fény segítségével derített világosságot titkaira. Távcsővével bejárta a csillagos eget, és színképelemzőjével behatolt az atomok elektronhéjai közé. Sorra gyűjtötte a tapasztalatokat a mikroszecskek birodalmából, amelyek *bizony nem mindig voltak összhangban a makrofizika törvényeivel*. Az ún. *elemi részek* világában ismét csak egészen más, sem a *mechanikával*, sem az *elektrodinamikával* *le nem írható*, sőt, azoknak részben ellentmondó tényeket tapasztalt. Az energia *nem folytonosan* változik (nem növelhető tetszés szerinti kis mértékben), az atomi kötélen belül nem érvényes az elektrodinamika sugárzásról szóló törvénye, az anyag elemi részei nem állandók, hanem *átalakulhatnak* stb. Megszületett a kvantumfizika. Ehhez a képhez járul még a relativitáselmélet által megállapított kapcsolat az energia és tömeg között, amely az *erőtereknek és elektromágneses hullámoknak is reális anyagiságot tulajdonít*. Gyökeresen megváltozott a kép. Az anyag fogalma *bővült*, a hétköznapi értelemben vett testek molekuláris-atomos szerkezetű tapintható anyaga mellé az erőtereket, sugárzásokat is hozzá kell számítanunk, mint az anyag más megjelenési formáját. Az anyag változásai a mechanikában pusztán *helyváltatással* kapcsolatos mozgások voltak. Mennyivel gazdagabb az anyag világa, hogy is lehetne a mechanisztikus világnézetbe beszorítani változatosságát! Az anyag nem mechanikai jellegű változásait „nem mechanikai mozgásformáknak” nevezi a dialektikus materializmus, és megkülönbözteti a fizikai, kémiai, biológiai, társadalmi mozgásformáit. Ezek az anyagnak mind újabb oldalát jelentik és új, saját törvényeikkel írhatóak le. Ebből azt kell megtanulnunk, hogy a törvényeknek – bármilyenek is legyenek azok – megvan a *saját hatáskörük, érvényességi területük*, amelyen belül helyesen írják le a természetet, de amelyből kiszakítva vagy nem mondanak semmit, vagy nem írják le hűen a valóságot.

## Összefoglalás

A fizika, mint az anyagi világ legegyszerűbb mozgásformáinak kutatásával foglalkozó tudomány nagy utat tett meg 2500 éves fejlődése folyamán. Módszerei, eszközei, tapasztalati tényanyaga egyre fejlődött, és törvényei egyre pontosabban írták le, kutatásuk tárgyának lényegét egyre jobban megragadták. A fizika tudománya több fejezetre osztható aszerint, hogy mely jelenségkörökkel foglalkozik, de ezek a jelenségkörök szorosan összefüggnek a valóságban, hiszen az anyagnak különböző oldaláról, tulajdonságai felől való megközelítései.

A fizika törvényeinek épp úgy, mint fogalmainak, bizonyos sajátos *szemlélete* is van. Más szemléletű a dinamika törvényrendszere, mint pl. a molekulárinkinetika statisztikai törvényei és fogalmai, ismét más a termodinamika szemlélete makroszkopikus fogalmaival, de megint más az előzőket tartalmazó ún. klasszikus fizikával szemben a kvantumfizika szemlélete.

A fizika törvényei általános érvényűek, a világegyetemre kiterjeszthetők, és mit sem von le értékükből az, hogy ennek ellenére jól elhatárolható *érvényességi körük* van. Ez az alkalmazhatósági területük. Az anyag önmagával való kölcsönhatásának leírása más törvényt igényel a mechanikai, mást az elektromágneses, mást a kvantummechanikai kölcsönhatásoknál.

A fizika fogalmai és tételei egységes *elméletekké* épülnek össze, amelyek kialakítják tudatunkban a *világnézetet*. Ehhez a képhez hozzátartoznak nemcsak maguk a konkrét törvények, hanem a törvények helyes szemlélete és értékelése is. Milyen messzire jutottunk az arisztoteleszi sztatikus, megmerevedett világnézetektől! És helyes úton járunk, ha belátjuk, hogy nem elég megtanulni egyetlen sémát, vagy sémák változatlan, sztatikus rendszerét, mert az anyag nem fog egynek sem kimerítően engedelmessé válni. A tudománnyal együtt annak minden tétele *fejlődik, bővül, általánosabbá válik*, vagy *mással helyettesítődik*, így szemlélete nem stagnáló, befejezett, hanem mindig kész a legvárhatóbb jelenségek befogadására, magyarázatára is. Ezzel pedig kész a világ anyagi és társadalmi törvényeinek helyes megértésére és környezetére anyagi és társadalmi képének megváltoztatására.