

Gondolkodás > = < **fizika?**

Fülöp Tamás

Készült az 1993. évi Budaörsi Napok kollégiumi szakmai pályázatára

"Tudományos módszer az, ahogy az alkotó tudósok dolgoznak, és nem pedig az, amit mások vagy esetleg ők maguk mondanak erre vonatkozóan."

D. W. Bridgman

Előszó

Ez az írás egy találkozásról szól. Két ember gondolatvilágának találkozásáról. Ez a két ember a tudomány két egymástól távol eső területén dolgozik. Mindkettő arról nevezetes, hogy egy eredeti, sajátos felfogásban szemléli és műveli szakterületét. Mindkettejük szemléletmódjának voltak már őket megelőzően is előfutárai. Ezek a rész-észrevételek azonban bennük formálódtak egy egységes, átfogó koncepcióvá. És közös bennük az is, hogy mindketten az emberi gondolkodás jellegzetességeivel foglalkoznak, ha más oldalról is.

Ez a két ember nem ismeri egymást. Van viszont egy harmadik ember, aki megismerte mindkettejük gondolatvilágát, és felfedezte bennük a közöset. Egy új egység kezdetét körvonalazódni szeme előtt, és gondolkodásának eddigi eredményeit szeretné most megosztani az Olvasóval.

Ez az írás a fizikai gondolkodásról szól. Nem csak a szakmabélieknek íródott, hanem bárki érdeklődőnek, akit valamennyire is érdekel ez a téma. Noha fizikáról van benne szó, teljesen közérthető nyelvezetben kíván szólni. Hiszen a lényeg kifejtéséhez nincs szükség semmiféle szaknyelvre.

Köszönet elsősorban ezt a két embert, Matolcsi Tamást és Mérő Lászlót illeti: gondolataikért. Ezenkívül szeretném megköszönni Varga Imrének (Imo) a megjelenés körül nyújtott baráti segítségét, továbbá munkahelyem és minden ismerősöm türelmét.

Budapest, 1993. május

Fülöp Tamás

Első fejezet

A fizika iránt érdeklődő ember szívesen olvas a fizikáról szóló könyveket, folyóiratokat. Ezek böngészése közben gyakran bukkanhat olyasféle állításokra, kitételekre, mint amilyenek az alábbi idézetek.

"A fizika törvényei kormányozzák a világegyetemet." (S. Hawking)

"A természettudományok törvényei nem sérülnek."

(A Világegyetem keletkezéséről:) "Mert az idővel minden fejlődik, kivéve a fizika törvényei. Így két változtathatatlan dolog van: maga a teremtés, és a fizikai törvények, amelyek teljes fegyverzetükben pattanak elő ebből az eseményből."

"A Természet nyelve a matematika."

"Kopernikusz még nem volt modern szellem, ő még nem az *igazságot*, hanem az egyszerűbb és harmonikusabb matematikai elméletet kereste." (Zemplén J.)

"Az Univerzum évmilliárdokat töltött el a Teremtés történetének megírásával, amelyet az emberek - semmi kétség - egykoron el is fognak olvasni."
(C. S. Powell)

"A tudomány a világmindenség egészének leírására alkalmas, egységes elmélet kidolgozására törekszik." (S. Hawking)

"Minden kor fizikusának az egységes világmagyarázat a végső célja."
(Zemplén J.)

"A napjainkra egységessé érett egzakt természettudomány egzakt elméleti alapjainak átfogó bemutatása fekszik előttünk." (egy elméleti fizika tankönyv előszavából)

"A természet készen áll titkai elárulására." (Zemplén J.)

"És most nézzünk szembe azzal a kérdéssel, hogy az általános relativitáselmélet és a megfigyelés között egy megerősített, megalapozott eltérés lép fel. Mi legyen az álláspontunk? Alapvetően rossznak kellene tartanunk az elméletet? Szeretném leszögezni, hogy az utolsó kérdésre adott válasz csak határozott *Nem* lehet. Mindenkinek érezni kell, aki értékelni tudja azt az értelmi harmóniát, amely összekapcsolja a természet működésének útjait és az általános matematikai elveket, hogy egy olyan elmélet, amely az *Einstein*-elmélet eleganciájával és szépségével rendelkezik, *kell* hogy lényegében helyes legyen. Ha az elmélet alkalmazásakor valahol diszkrepancia jelentkezik, az csak valamilyen másodlagos jelenség következménye lehet, amelyet nem vettek kellőképpen figyelembe, de nem jelentheti az elmélet általános elveinek csődjét." (P. Dirac)

"...az is egészen bizonyos, hogy a legmodernebb fizikában az anyag legkisebb végén (a legkisebb dimenziók világában) szintén matematikai formák állnak."
(W. Heisenberg)

"...ma már tudjuk azt, amit a szervezetünk ösztönösen eddig is tudott; ma már tudjuk, hogy mi az oldódás, a csodálatos az, hogy ezt a cukor és a kávé is tudja."

"A Tudomány racionális."

"A fizika bizonyos egyenletei olyan szépek, egyszerűek, hogy azokat nem az ember találja ki, hanem már úgy maguktól 'vannak'."

Hasonlóan, gyakran találkozhatunk az alábbi fordulatok egyikével-másikával:

"megértjük a jelenséget", "felismerjük az igazságot", "igazi megértés", "végre látjuk", "ma már értjük", "megtaláljuk a választ"; "Mi rejtőzik végső soron a felszín mögött?" Sőt: "a természet sötét sarkaiba behatolni az emberi értelem világának segítségével".

Ezek a megfogalmazások azt a képet alakítják ki bennünk, hogy a fizika egységes, precíz és egzakt, sikeresen halad a tökéletes megismerés felé, és hogy azt már hamarosan el is fogja érni.

Akit különösen érdekel a fizika, és kellő tehetséget érez magában, arra az elhatározásra juthat, hogy egyetemi tanulmányok formájában is szeretne foglalkozni vele. S ha sikeres felvételt is tett, elé tárul a lehetőség, hogy közelebbről is megismerhesse ezt a tudományt.

A fizika elméletei közül először a klasszikus mechanikával találkozunk. A mechanika a XVII. század végére alakult ki, és mind a Földön található testek, tárgyak, mind az égitestek mozgását a kísérletekkel remekül egyező módon képes megjósolni. Olyannyira sikeres elméletnek bizonyult, hogy az elkövetkező kétszáz évben a fizikusok a klasszikus mechanikában vélték megtalálni a világot tökéletesen leíró elméletet. Egyetemistánk kellemő áhítattal közeledik ehhez a tárgyhoz, aztán megtanulja róla, hogy a fizika fejlődésével kiderült, hogy a nagyon kis testek (az atomok) illetve a nagyon nagy sebességű mozgások (fénysebesség) körében a klasszikus mechanika jóslatai eltérnek a tapasztalattól. Elmondják neki, hogy az előbbi esetben a kvantummechanika, az utóbbi esetben a speciális relativitáselmélet lesz az, amely ezekben a jelenségtartományokban sikeresen tudja magyarázni a kísérleti eredményeket. Ezek az elméletek a XX. század elején keletkeztek, és hamarosan egyetemistánk is találkozni fog velük.

Barátunk becsületesen felkészül klasszikus mechanika vizsgájára. Tanulás közben ugyan bizonyára nem ért mindent, de hát ez nem meglepő. Biztosan nem elég okos - gondolja magában. Észreveheti például, hogy noha a tananyag szerint a mechanika összes állítása néhány alaptörvény - az ún. Newton-axiómák -következménye, mintha a testek ütközésére vonatkozó törvények nem lennének levezethetők a Newton-axiómákból. Ez csak egy könnyen kijavítható apró formai hiba - intézheti el a kérdést egyetemistánk. Az is feltűnhet neki, hogy a testek alakváltozásának mechanikájában hogyan bukkanhat fel a hőmérséklet, ami pedig a mechanikában sehol sincs bevezetve. Mindegy, majd később, több tudás birtokában biztosan megértem - nyugtatja meg magát.

Aztán megismerkedik a klasszikus elektrodinamikával. Ez az elmélet, mely az elektromos töltésű testek és mágnesek által keltett elektromos és mágneses jelenségek sikeres elméleti magyarázatát valósította meg, a XIX. század közepén született meg. A tárgy megtanítja egyetemistánknak, hogy a testek hogyan keltenek elektromos és mágneses mezőt, azt is, hogy az elektromos és mágneses mező hogyan befolyásolja a testek mozgását. Így a klasszikus mechanika és a klasszikus elektrodinamika együttes alkalmazásával már szépen el lehet boldogulni a világ leírásában. A speciális relativitáselmélet keretében barátunk megtanulja azt is, hogy hogyan kell módosítani a mechanikát, és ezzel párhuzamosan tér- és időfogalmunkat, hogy a fénysebességhez közeli sebességű mozgások esetére is a tapasztalattal egyező jóslatokat kaphassunk. (Az elektrodinamikát nem kell módosítani, az már eleve speciális relativisztikus tér-idő háttérrejt magában.)

Az elektrodinamika tanulása közben is felbukkan néhány zavaró momentum. Az anyag elektromos töltéssel rendelkező elemi alkotórészei, például az elektron esetén az elmélet a töltés körüli elektromos mező energiájára végtelent jósol. Ez a matematikailag értelmetlen eredmény nemcsak barátunkat, hanem láthatóan oktatóját is zavarba ejti. Hasonló helyzet áll elő, mikor arról esik szó, hogy a kísérleti tapasztalatok szerint pl. egy elektronra nemcsak a világ összes többi töltése hat elektromosan és mágnesesen, hanem a saját elektromos és mágneses mezeje is. Ehhez képest az elmélet szerint az elektron elektromos mezeje az elektron helyén végtelen nagy, így matematikai képtelenség figyelembe venni az elektron önmagára való hatását! A tárgy előadója hímez-hámoz, annyit mondhat mindössze, hogy ezeknek a problémáknak a megoldásán egyelőre a Nobel-díjas elmék is hiába fáradoztak. Még azt említheti meg, hogy a klasszikus elektrodinamika sem írja le teljes pontossággal az elektromos és mágneses mezőt. Itt is tovább kellett és sikerült lépni az elmélet kvantumozott verziója irányába, és ha ott sikerül megoldani ezeknek a problémáknak a kvantumozott megfelelőjét, akkor végülis nincs nagy baj. Addig is, míg egyetemistánk találkozni fog tanulmányai során a kvantum-elektrodinamikával, elgondolkodhat azon, hogy ha az elektron végtelen elektromos energiája és önmagára való hatása ennyi fejtörést okoz, hogyhogy nem foglalkozik senki az elektron tömegéből származó negatív végtelen energiával, illetve az elektron önmagára való gravitációs hatásával? Ez ugyanis matematikailag ugyanaz a szituáció, csak ellentétes előjellel! (Nem mint ha az elektromos és a gravitációs végtelenek együttesen 'kiejtenék egymást'.)

A termodinamika, a testek hőjelenségeivel foglalkozó elmélet tanulásakor zavaró, hogy noha a tárgy neve *dinamikát* sejtet, az elmélet formalizmusában egy szó sem esik a folyamatok időbeli lefolyásáról. Másrészt láthatóan nem sok kapcsolat van a klasszikus mechanika, a klasszikus elektrodinamika és a termodinamika között, a fizika egyáltalán nem tűnik "egységessnek". Na de talán csak "napjainkra érett egységessé"; majd a későbbi tanulmányok során minden kiderül.

A kvantummechanikával való ismerkedés közben a szokatlan és nehéz matematikai formalizmus közül még a problémákat is nehéz kibányászni, megfogalmazni. Egyetemistánknak mégis feltűnhet, hogy a kvantummechanika állítólag lényegében mindenre érvényes, mégis a régi, nemrelativisztikus tér- és időfogalommal dolgozik. Miért nem speciális relativisztikusra csinálták? Hát ha még barátunknak az is eszébe jut, hogy hallomása szerint az általános relativitáselmélet - a gravitáció legmodernebb elmélete - szerint a tér-idő 'görbült'. Hát igen, feleli oktatója, a kvantummechanika speciális relativisztikus változata már elkészült, de a 'görbült téridős' még nem. De a fő dolog, ami elbizonytalanítja kedves ismerősünket, a mérés, illetve a kvantummechanika interpretációja körüli látható

zavar és köd. Mit gondoljunk az elektron 'hullámfüggvényéről', tényleg igaz-e, hogy elvileg nem lehet megmérni egy elektron helyét tetszőleges pontossággal, van-e egyáltalán helye egy elektronnak, talán több is van neki,... Bizonyos szempontból úgy tűnik, hogy a kvantummechanika tökéletesen pontos mérésekről beszél (igaz, hogy ezek eredménye ugyanabban a szituációban más és más lehet). Máshol viszont azt állapítják meg, hogy a mérés annyira megzavarja a vizsgált objektumot, pl. egy elektront, hogy nem lehet pontos mérésről beszélni. Barátunk hallhat a különböző iskolákról, irányzatokról, melyek ezekben a kérdésekben különböző véleményeket hangoztatnak. Ezek ráadásul inkább a filozófia, mint a fizika nyelvén beszélnek: na de hát mi itt a valóság, mi az igazság?

A statisztikus fizika tárgyánál (mely az anyagok tulajdonságait egyes atomjainak viselkedésének összegeződéseiből származtatja) zavart okoz, hogy tényleg lehetséges-e az időirány megfordítására szimmetrikus mechanikából (legyen az a klasszikus vagy a kvantummechanika) matematikai levezetéssel az egyik időirányt kitüntetett végeredményekre jutni. Ráadásul az ember olyan képletre is bukkan, amelyben különböző mértékegységű fizikai mennyiségek vannak összeadva (kilogramm a másodperccel), amiről pedig már általános iskolában megtanultuk, hogy értelmetlenség.

A szilárdtestfizikáról kiderül, hogy nem egy elmélet, hanem a fizika eddig kifejlesztett elméleteinek - mikor melyiknek - az alkalmazása egy jelenségkör (a szilárd testek tulajdonságai) vizsgálata céljából.

Végül, végre-valahára egyetemistánk eljut oda, hogy betekintést nyerhet a kvantumelektrodinamikába, vagy általánosabban a kvantumtérelméletekbe. Ezek az elméleti fizika legmodernebb elméletei, és az anyag máig ismert legkisebb alkotórészeinek helyenként lenyűgözően pontos leírását szolgáltatják. Na itt majd minden a helyére kerül, látványos fog a várva várt egység és a bizonyosság.

Hát, első látásra máris feltűnő, hogy a kvantumtérelméletek nem görbült, csak speciális relativisztikus téridő-háttéren dolgoznak. Ez egyben azt is jelenti, hogy a gravitáció kimarad a tárgyalásból. De ez csak a kezdet. Kiderül, hogy ezek az elméletek csak bizonyos speciális folyamatokkal tudnak foglalkozni. Mégpedig lényegében a következő két-fajta folyamattal: az egyik, amikor két szabadon repülő részecske egyszer csak összeütközik, az ütközés során átalakulnak valahány új (vagy régi) típusú részecskébe, akik aztán szabadon folytatják útjukat. A másik pedig az, amikor egyetlen szabad kezdeti részecske van, ő egy ideig röpköd, aztán elbomlik néhány másfajta részecskére, akik aztán szabad mozgással távoznak. Már az is igen nagy nehézségeket jelent, ha az elmélet a kirepülő részecskék közötti esetlegesen fellépő további (pl. elektromos) kölcsönhatást is figyelembe akarja venni. Bonyolultabb jelenségek esetén a helyzet még reménytelenebb. Ráadásul a jelenségek (akár a fenti legegyszerűbbek) időbeli alakulásáról az elmélet képtelen számot adni. "... az elmélet lemond a folyamatok időbeli lefolyásának leírásáról. ... Az egyedül megfigyelhető mennyiségek a szabad részeket jellemzők lesznek - azoké a kezdeti részecské, melyek belépnek a kölcsönhatásba és a végső részecské, melyek a folyamat következtében keletkeznek." - írja az egyik legrangosabb elméleti fizika tankönyv.

A kvantumtérelméletek tehát nem képesek a világ összes fajta jelenségeit tárgyalni. De nemcsak tartalmi, hanem formai fogyatékoságok is akadnak. A klasszikus elektrodinamika végtelenjei (más néven divergenciák) itt is felütik a fejüket, ráadásul sokkal 'agresszívebb' formában jelentkeznek. Az előbb idézett könyv megfogalmazásában: "A teljes logikai zártság hiánya akkor mutatkozik meg az elméletben, ha matematikai apparátusát közvetlenül alkalmazzuk. Ekkor divergens kifejezésekre jutunk, de ezeknek megszün-

tetésére teljesen egyértelmű eljárások léteznek. Ezek a módszerek azonban jelentős mértékben félempirikus előírások jellegét mutatják, és meggyőződésünk, hogy az ezúton kapott eredmények helyessége végső soron csak a kísérlettel való gyönyörű egyezésen és nem az elmélet alapelveinek belső konzisztenciáján és logikai 'szépségén' alapszik."

Egyetemistánk zavarodottan és csalódottan néz végig a fizikán. Egységes fizika helyett lényegében különálló diszciplínákat, tökéletes egzaktság helyett matematikai inkorrektégeket, a valósággal való tökéletes egyezés helyett érvényességi köröket lát. A fizikatörténettel foglalkozó könyvekből nem azt szűrheti le, hogy a fizikusok 'sorra felfedik a természet törvényeit', hanem azt, hogy sok-sok éven át sok fizikus különböző elméleteket javasol egy adott jelenségkör kísérleti tapasztalatainak elméleti származtatásához, míg végül az egyik javasolt elmélet eléggé beválik ahhoz, hogy azontúl a fizika azt használja az adott jelenségkörhöz. Vajon ő látja csak rosszul a helyzetet? Vagy tényleg ennyire más, ennyivel korlátozottabb érvényű az elméleti fizika? Az egyetemen egységes tudást várnak tőle: "A szigorlatozónak igazolnia kell, hogy a fizikát egységben képes látni, ismeri a kísérleti és elméleti alapokat, kritikailag össze tudja hasonlítani a különböző leírásmódok használhatóságát és érvényességét." Érez is valamiféle egységet, de ezt megfogalmazni nagyon nehéznek tűnik. Érteni viszont csak részeket, részleteket ért. Vajon őbenne van a hiba, csak ő nem elég okos, hogy megértse és átlássa a dolgokat? Az évfolyamtársaival, oktatóival való beszélgetések során, a könyvek vagy éppen a szakcikkek tanulmányozása közben annyi kiderül, hogy másoknak is hasonló problémáik vannak, de megnyugtató választ sehol sem talál. Mindenesetre annyit megállapíthat: *úgy tűnik, az elméleti fizika sokkal szerényebb képességekkel rendelkezik, mint ahogyan ezt általában hirdetik róla.*



első évesen



ötödévesen

Második fejezet

A barkochba játékban gyakran előfordul, hogy az elhangzott kérdésre valahogyan mind az 'igen', mind a 'nem' választ helyénvalónak érezzük. Ilyenkor 'is'-sel szoktunk válaszolni. Akadnak olyan esetek is, amikor viszont sem az 'igen', sem a 'nem' nem illeszkedik igazán az elhangzott kérdésre. A helyzetet legjobban a 'nem jellemző' válasszal tudjuk kifejezni.

"Csudálatos, hogy gyakran az örültség eltalálja, mit az értelem s a józanész nem bírna oly szerencsésen megoldani."
(William Shakespeare)

"Az ész nem annyira teremtő erő, mint inkább összehangoló és ellenőrző. Még a legtisztábban logikai szférában is az intuíció az, ami először érkezik el az újhoz."
(Bertrand Russell)

"A szívnek megvannak a maga indokai, amelyeket az indokló értelem nem ismer."
(Blaise Pascal)

"Ahány ember, annyi észjárás. Nincs az a gondolat, nincs az a kedvesség vagy sértés, amire két ember egyformán reagál. ...nagyon sokféle észjárás van. Ezzel együtt, ismerünk néhány olyan vezérfonalat, amelyek szerint a gondolkodásmódok tipizálhatók. Nap mint nap érzékeljük, hogy egy-egy szakmában mennyire másként gondolkodik a szakember, mint a laikus. Beszélünk hétköznapi és tudományos gondolkodásmódról, sőt azt is érezzük, hogy a művészi látásmód mindkettőtől gyökeresen különbözik. Megkülönböztetünk absztrakt és konkrét gondolkodást. Beszélünk racionális és irracionális gondolkodásról is. Mit jelentenek voltaképpen ezek a kifejezések?"

E három látszólag független gondolatbokról valójában ugyanarra kérdez rá különböző szemszögekből. Vajon mennyire logikus, racionális az emberi gondolkodás? Hogyha nem teljesen racionális, akkor milyen mértékben az? Egyáltalán, milyen is az emberi gondolkodás?

A fenti hosszabb idézett szövegrészlet Mérő László Észjárások című könyvéből való, sőt a három rövid idézet is ebből a könyvből lett választva. Ez a mű igazi csemege azok számára, akikben magukban is ott bujkálnak az előbb feltett kérdések. A szerző eredetileg elsősorban a mesterséges intelligencia irányából érkezett erre a területre: mi lehet az oka, hogy a mesterségesen létrehozható (számítógépes) értelem valahogy egyetlen területen sem képes elérni az ember teljesítményét? Például a legjobb számítógépes sakkprogramok is képtelenek felvenni a versenyt a sakknagymesterekkel. (Sőt, úgy tűnik, mintha a programnak fogalma sem volna arról, hogy mi történik a játszmában.) Egy sakkprogram precízen és racionálisan játszik, de ez valahogy kevés. Lehet, hogy az emberi gondolkodás annyira más, annyira nem racionális jellegű, hogy ezért a nagy eltérés az ember és a mesterséges intelligencia programjai között? Mérő László a kísérleti

pszichológiához fordult, hogy megtudja, mit sikerült eddig kideríteni az emberi gondolkodás jellegéről. A könyv számos e téren végzett pszichológiai kísérletet mutat be. Ezek eredménye úgy foglalható össze, hogy úgy tűnik, az ember gondolkodása alapvetően nem racionális, még azokra a következtetéseire sem a formális logika eszközeivel jut, amelyeknek leírására a formális logika tökéletesen alkalmas!

Megdöbbenő eredmény. Ám ha gondolkodásunk ennyire nem logikus, akkor milyen? Lehet-e ma erről tudni valamit? A válasz igen, a kísérleti pszichológiának már sikerült bizonyos dolgokat feltárnia. Úgy fogalmazhatunk, hogy az ember gondolkodása alapján véve intuitív, heurisztikus.

Intuitív, ahogyan a fejezet elején olvasható három idézet is mondja. Amikor egyszerűen csak beugrik egy rejtvény vagy matematika feladat megoldása: "Különösnek tűnik, különösnek tűnik, nagyon különösnek tűnik, majd hirtelen egyáltalán nem látszik különösnek, és az ember nem érti, hogy először mitől tűnt olyan különösnek." - számol be valaki erről az élményről. Mérő Lászlót idézve: "Még a matematika nagymesterei sem levezetésekben gondolkodnak, amikor egy feladatot megoldanak vagy új matematikai igazságok után kutatnak. Sokkal általánosabb, komplexebb sémákat, többnyire valamiféle belső képeket használnak. Ezeknek a képeknek a jellege, stílusa nagyon sokféle, egyéni lehet. Az ilyen képeknek azonban már nyoma sincs a matematikai könyvekben, még kevésbé a szakcikkekben. J. Hadamard, nagy francia matematikus bátor elhatározással egy hosszú esszét írt a matematikai invenció pszichológiájáról. Ebben leírja saját foltszerű, homályos képeit, amelyek matematikai fogalmait kísérik. A képek még annyira sem érthetők annak, akiben történetesen másfajta képek formájában élnek a matematikai fogalmak, mint az absztrakt festészet legérthetlenebb alkotásai. Pedig amikor definíció, tétel és bizonyítás lesz belőlük, a szakmabeli számára tökéletesen érthetővé válnak." Hasonlóan homályos képeket ír le a Nobel-díjas fizikus Feynman, amikor arról tudósít, hogy mit lát maga előtt, amikor megpróbálja elképzelni az elektromos és mágneses mezőt.

Gondolkodásunk heurisztikus. Formális logikai szillogizmusok helyett heurisztikákkal dolgozik elménk. Heurisztikának nevezünk minden olyan szabályt, következtetést, értékelést, elvet, amely egy bizonyos szituációban többnyire érvényes, de nem mindig - fogalmaz Mérő. Ilyen például az úgynevezett 'rögzítés és igazítás heurisztika'. Ha megkérjük az embereket, hogy gyorsan, pontos számolás nélkül becsülje meg az $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8$ szorzás eredményét, általában 500 körüli válaszokat kapunk. A $8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$ szorzat értékére viszont átlagosan 2200-at válaszolnak. A heurisztika itt a következő: az első néhány információhoz igazítjuk saccunkat, még ha az információk sorrendje teljesen lényegtelen is. (A szorzat értéke egyébként 40320!) Ugyanez a heurisztika működik bennünk, amikor a határidőket szinte mindig alulbecsüljük. Egy másik heurisztika a racionalizálási heurisztika. "A racionalizálás tipikus példája, amikor La Fontaine fabulájában a róka nem éri el a szőlőt, és megállapítja, hogy nem is kell neki, mert utálja a savanyút. Ezzel persze a róka egyáltalán nem cselekedett racionálisan, de kellemesen megnyugtatta magát, hogy amit tett, az volt az egyetlen ésszerű lehetőség. A racionalizálás olyan, többnyire tudattalan és akaratlan mechanizmus, amelynek segítségével eltorzítjuk a valóságot, hogy viselkedésünk számunkra vagy a külvilág számára elfogadhatónak, a hétköznapi logika szerint ésszerűnek tűnjön." Röviden: kimagyarázzuk magunkat. Az ún. 'intellektualizálás heurisztikájának' tipikus működése például az, amikor az orvos absztrakt, szakmai esetként kezeli betegeit, mert ha mindegyikük szenvedésével lélekben azonosulna, az elviselhetetlen terhet jelentene számára. (A könyv még további érdekes heurisztikákat is ismertet.)

Heurisztikákra szorulunk, ha elvileg vagy gyakorlatilag nincs lehetőségünk az összes lehetséges eset módszeres, precíz végigelemzésére (például a sakkban). De még olyankor sem mindig boldogulhatunk heurisztikák nélkül, amikor módunkban áll racionális úton gondolkodni. Mérő ismerteti a 'végtelen hurkok problémáját' és a Gödel-tételt, melyek azt mutatják, hogy a formális eljárások, algoritmusok már belső matematikai szerkezetüknél fogva csődöt kell, hogy mondjanak bizonyos helyzetekben. Például az ember képes arra, hogy ha a lemezjátszón elakad a lemez, ezt egy idő után felismerje és kilépjen az ismétlődő körből, odébb lökje a tűt. Viszont *elvileg* nem létezhet olyan formális eljárás, ami minden ilyen helyzetet felismer. úgy tűnik, mind az intuitív, heurisztikus gondolkodásnak és a formális, racionális gondolkodásnak megvan a maga haszna, előnye és hátránya; kettejük között a szereposztást a fejezet elején olvasható Russell-idézet fogalmazza meg.

Az emberi gondolkodás másik fő jellemzője a sokféleség. Sokféle módon gondolkodunk 'logikusan'.

Ha az autóban nincs benzin, az autó nem indul el. A világ körülöttünk lévő tárgyainak, jelenségeinek összefüggései, törvényszerűségei esetén beszélünk a 'dolgok logikájáról'.

'Hétköznapi logikának' nevezhetjük azt, amikor hétköznapi életünk során egy probléma megoldásához szabatos, helyes, logikus gondolkodással jutunk el. ('Hová is tettem a szemüvegemet?')

A hétköznapi logikából leszűrhető következtetési formák, illetve a belőlük következő további következtetési formák rendszerezésével alakult ki a formális logika, mely Arisztotelész óta a szabatos gondolkodás mércéje.

Az egyes emberi tevékenységköröket, szakmákat sajátos észjárások jellemzik. Ezeket szakmai logikának nevezhetjük. Ilyen például a tudományos gondolkodás. Ezen belül, az egyes tudományágak gondolkodásmódja is eltérő. A tudományok eddigi sikereiket nagyrészt annak köszönhetik, hogy nem a hétköznapi logikával dolgoznak, hanem az adott jelenségkörhöz, problémakörhöz jobban illeszkedő szakmai nyelvezetet alakítottak ki. Ettől persze a kívülálló számára unalmas, sőt érthetetlen lesz a legtöbb szakmai mű, és az egyes tudományágak nagymértékben eltérő szakmai logikája okozza azt, hogy 'mára a polihisztorok kora lejárt'.

Egy tudomány aktuálisan elfogadott szabályrendszerét, pillanatnyi világképét paradigmának nevezzük. "Akkor válik egy ismeretanyag, egy vizsgálódási irány tudománnyá, amikor kialakul körülötte egy, a résztvevők által általánosan elfogadott paradigma, és ezáltal az egész kutatási irány mint rendszer, értelmet nyer." - írja Mérő László.

A tudományos gondolkodás csak egy a társadalomban fellelhető szakmai logikák közül. "Az a jogász, aki a Gellérthegyről lenézve jogalanyokat és jogtárgyakat lát, holott a pénzügyminiszter szerint adóalanyokat és adótárgyakat kellene látnia." Ismeretes a katonaság jellegzetes gondolkodásmódja, és állítólag van 'bőripari logika' is. A formális logikai rendszerekhez hasonlóan ezeknek a szakmai logikáknak is saját igazságkritériumuk, következtetési szabályaik, axiómáik, definícióik, tételeik, bizonyításaik és ellentmondásaik lehetnek.

Az egyes nemzetek, népek gondolkodásmódja is eltérő. A könyv egyik érdekes példája az, amikor a matematikus Stanislaw Ulam ír arról, hogy különböző nyelveken gondolkodva milyen eltérő gondolatai születnek: "Franciául általánosítások jutnak az eszembe, ez a nyelv tömörségre és egyszerűsítésre ösztökél. Angolul a dolgok gyakorlatibb oldalát látom meg, németül pedig olyan mélységek felé haladok, amelyeket maga az anyag

gyakran nem is indokol. Lengyelül és oroszul a gondolatok lassan forrnak ki, ahogy a tea egyre erősebbé válik a csészében."

Vonatkoztatási rendszernek nevezünk egyfajta gondolkodási módot, szempontot, stílust, szemszöveget, keretet. Például azt, amikor valaki egy foglalkozás szakmai logikájával gondolkodik. A tudomány, a művészet, a vallásos megismerés, vagy a misztikus gondolkodás magasszintű vonatkoztatási rendszerek. De egy zenei hangnem, vagy a KRESZ is egy-egy vonatkoztatási rendszer. Egy vonatkoztatási rendszer gyakran bizonyos tipikus élethelyzetekhez kapcsolódik:

"Te is lehetsz állampolgár, adóalany vagy kedves hallgató;
mélyen tisztelt egybegyűlt, vagy peres fél, vagy nyájas olvasó..."
(KFT együttes)

A vicc két vonatkoztatási rendszer frappáns ütköztetése. A viccnél is, a barkochbánál is egy-egy szó vagy mondat egy vonatkoztatási rendszert idéz fel: hogy milyen értelemben kérdez a kérdező, milyen keretben gondolkodik a vicc szereplője. Ha a barkochbában a kitalálendő dolog beleilleszkedik a kérdés mögött felsejlő vonatkoztatási rendszerbe, akkor egyértelmű 'igen'-nel vagy 'nem'-mel tudunk válaszolni. Ha van ugyan némi köze a vonatkoztatási rendszerhez, de abba értelmezéstől függően több módon is beilleszthető, ilyenkor állhat elő az az eset, amikor az 'is' választ érezzük a helyénvalónak. Ha pedig semmilyen módon nem tehető bele, kénytelenek vagyunk 'nem jellemző'-vel válaszolni.

Ha elakad a lemezjátszó, azt egy idő után felismerjük. Az emberben megvan a vonatkoztatási rendszer váltás képessége. Sőt, időnként olyan könnyedén váltunk vonatkoztatási rendszert, hogy észre sem vesszük, és utólag alig tudjuk kinyomozni, hogy hol is történt az átbillenés. Példa erre a következő gondolatmenet: minél csúnyább egy nő, annál több kozmetikumot használ; minél több kozmetikumot használ egy nő, annál szebbnek látszik; tehát minél csúnyább egy nő, annál szebbnek látszik!(?) Itt a 'minél-annál' kétfajta jelentése között váltunk észrevétlenül, és így jutunk az abszurd következtetésre.

Máskor pedig reménytelenül bele tudunk ragadni egy vonatkoztatási rendszerbe. Oldjuk meg például azt a feladatot, amikor hat gyufaszáלבól kell olyan ábrát készíteni, amelyen négy egyforma méretű szabályos háromszög található. Az ember önkéntelenül is síkban és gyufaszál-egységnyi oldalú háromszögekkel próbálkozik. Nehéz kilépni ebből a keretből, általában csak hosszú idő elteltével sikerül eljutni a térbeli, vagy a síkbeli, de fél gyufa-egységnyi háromszögekkel operáló megoldáshoz.

Aki 'nem érti az idők szavát', vagy 'csőlátása van', az bizony jó alaposan bele van ragadva egy vonatkoztatási rendszerbe.

Teller Ede egyenesen így fogalmaz: "Én azt állítom, hogy megtaláltam azt az anyagot, ami a világon a legtehetetlenebb, és az az emberi agy: amit ma gondolsz, azt holnap is gondolni fogod, és csak egyfajta kivétel van, ami még rosszabb, ti. egy embercsoport, mint a katonaság, vagy az egyetemi tanárok, mert az egész csoport az még nehezebben változtatja meg a véleményét."

A vonatkoztatási rendszerek hasznosak. "A művészet az a hazugság, mely segít meglátnunk az igazságot." - mondja Picasso. Ugyanezt fogalmazta meg Hans Vaihinger a tudományra vonatkozóan: "Tudományos vagy egyéb koncepcióink nem mások, mint logikai ellentmondásokkal terhelt fikciók, de bizonyos mértékben mégis jók, mert lehetővé teszik, hogy gyakorlatilag hassunk az igazságra. Úgy élünk, mintha a világ megfelelné

ezeknek a fikcióknak, mintha a valóság olyan volna, amilyennek elképzeljük! Nem sokat számít koncepciónk képzeletszerűsége, ha lehetővé teszi dolgaink rendezését. Nem sokat számít, hogy a dolgok léteznek-e a valóságban, hiszen a 'dolog' fogalma szintén fikció - elég, ha mi úgy viselkedünk, mintha léteznének, hisz ez a viselkedési mód gyakorlatilag előnyös."

Egy paradigma hasznos, mert tartást ad a tudománynak. Módszert nyújt a kutatónak, és hitet, hogy ha egy tudományos kérdést sikerül a paradigma nyelvén megfogalmazni, akkor az meg is válaszolható (mégpedig a paradigma keretén belül).

De egy vonatkoztatási rendszernek hátrányai is vannak. Egy paradigma csak a nyelven megfogalmazott kérdést érti. A paradigma dönti el, hogy egy ritka jelenség 'van-e', vagy 'nincs'. A ma fizikájában egy újfajta elemi részecskéből elegendő öt darabot felfedezni, hogy a kutatók Nobel-díjat kapjanak. A parajelenségek viszont 'nincsenek'. A tudomány csak olyan kérdéssel képes és hajlandó foglalkozni, amelyet sikerül a paradigma nyelvén megfogalmazni. Így a tudomány merevvé és belterjessé válik, amin az időszakonként bekövetkező paradigmaváltások tudnak csak lazítani. Továbbá egy idő után összekeverednek a tényleges ismeretek azzal a hittel, ami az ismeretek közötti hézagokat betölti. S ez az időnként szükségszerű paradigmaváltást nagymértékben akadályozza: nem világos, hogy mit kell megtartani, és mit lehet elvetni.

Egy vonatkoztatási rendszer merevséget szül. Az ember nem tud, de nem is akar, nem is mer kilépni a vonatkoztatási rendszerből. Ha valami kilógni látszik, 'kidumáljuk' (racionalizálási heurisztika). Gyakran egyenesen mulatságos, ha valaki túlzottan beleragad egy vonatkoztatási rendszerbe. A másik tipikus probléma az, amikor a vonatkoztatási rendszerről azt hisszük, hogy az a valóság. "Az embert is óraműként szemlélte a XVIII. század, hőgépnak tekintette a XIX. század, számítógépet lát benne a XX. század tudománya." - jellemzi a természettudomány paradigmáit Marx György fizikus. Pedig egy vonatkoztatási rendszer csak a valóság egy torzított vetülete.

Másrészt minden vonatkoztatási rendszer emberi termék. Jól kifejezi ezt 'fogalom' szavunk szinonímája, a 'képzet'. Egy vonatkoztatási rendszer úgy készül, hogy a valóságban összefüggéseket, törvényszerűségeket, logikai kapcsolatokat vélünk fölfedezni. Ebbéli tevékenységünk során gyakran túllövünk a célon, értelmet érzékelünk ott is, ahol pedig nincs is. Jó példa erre a Rorschach-teszt, melyet a pszichológia használ. Színes foltokat tartalmazó ábrát mutatnak a vizsgált személynek, aki pl. angyalokat vagy félelmetes madarakat vél felfedezni az ábrán, lelkiállapota függvényében. Mérő László könyvében idézi Bertrand Russell érdekes megfigyelését: "Úgy tűnt, hogy az állatok mindig olyan módon viselkednek, hogy az az őket megfigyelő ember filozófiájának igazságát bizonyítsa. Ez a megsemmisítő felfedezés igen széles területre érvényes. A XVII. században az állatok vérengzők voltak, de Rousseau hatására kezdték a nemes lelkű vadember kultuszát példázni... Viktória királynő uralkodásának egész időszakában a majmok mind erényesen monogámok voltak, de a léha húszas években erkölcsük a baljós hanyatlás jeleit mutatták (...) Azok az állatok, amelyeket amerikaiak figyeltek meg, eszeveszetten száguldoztak fel-alá, míg egy véletlen folytán rá nem bukkantak a megoldásra. Azok az állatok viszont, amelyeket németek figyeltek meg, csendben ülnek és mindaddig vakargatják a fejüket, amíg ki nem formálják a megoldást belső tudatukból. Hittem abban, hogy a megfigyelések mindkét csoportja teljesen megbízható, amint hittem abban is, amit egy állat tesz az a feladott probléma jellegén múlik."

Ráadásul minden vonatkoztatási rendszerben felléphetnek a racionális rendszerek belső korlátai is: a végtelen hurkok, a gödéli problémák (lásd Mérő László könyvét). A vonatkoztatási rendszerekre sommás ítéletet mond Charlie Chan, a filmbéli bölcs kínai detektív: "A teória olyan, mint maszat a szemüvegen: elhomályosítja a látást."

Mi legyen hát a módszer? "Keresd az egyszerűséget, és ne higgy neki!".(Alfred North Whitehead) Azaz: építs vonatkoztatási rendszert, használd, de különböztess meg a valóságtól, és váltogasd őket. A vonatkoztatási rendszeren belüli racionális gondolkodás és a vonatkoztatási rendszerekre való intuitív rálátás *együtt* adja ki a hatékony emberi gondolkodást.

Harmadik fejezet

Az emberi gondolkodás imént megismert jellegzetességeinek fényében nagymértékben megvilágosodik, érthetővé válik az a kép, ami az elméleti fizikáról az első fejezet során kirajzolódott szemünk előtt.

Először is, a fizika elméletei vonatkoztatási rendszerek. Mindegyik a világ jelenségeinek egy bizonyos részének tárgyalására alkalmas. Egy fizikus tudja, hogy milyen jelenséghez melyik elmélet, modell illeszkedik. Bizonyos jelenségkörökre több elmélet is használható. Ilyenkor a fizikus ügyesen váltogatja vonatkoztatási rendszereit, mikor melyikkel lehet sikeresebben vagy könnyebben dolgozni. Vannak persze olyan jelenségek is, amelyekhez még nincs elmélet kifejlesztve. Ilyenkor a fizikus új modellt alkot. Ehhez azokat a már kész elméleteket használja föl, amelyek érvényességi köre eléggé közel esik a leírandó jelenséghez. Ezeknek az elméleteknek bizonyos részeiből, ezek stílusában építi fel elméletét.

A fizikusnak szüksége van tehát a vonatkoztatási rendszer megválasztásának képességére (hogy melyik vonatkoztatási rendszerek illeszkednek a vizsgált jelenséghez), a tartósan egy vonatkoztatási rendszerben maradás képességére (mikor egy adott elméletben dolgozik), a vonatkoztatási rendszer váltás képességére (mikor több elmélet is vonatkozik a vizsgált jelenségre), és a vonatkoztatási rendszer készítésének képességére (mikor új elméletet kell kifejlesztenie). Képzése során a fizikus elsajátítja ezeket a képességeket.

Olykor túl jól is tud váltani, gyakran észre sem veszi, hogy valójában szemszöget váltott. Példa erre az, amikor egy testet egyszer pontszerűnek tekint, aztán egyszerűen csak már mint folytonos tömegeloszlásút tárgyalja. Vagy például amikor a nemrelativisztikus tér-idő elképzelésből átvált speciális relativisztikusra, vagy fordítva. Ezek között nagy intuitív rokonság van, de mint formalizmusok eltérőek.

A vonatkoztatási rendszer megválasztásáról tanultak is néha becsaphatják a fizikust. Kérdezzük meg például bármelyiküket: ha azt látják, hogy egy golyó legördül egy lejtőn, majd egy álló golyónak ütközik, mit várnak. Valami olyasmit fognak válaszolni, hogy az ütközés után a másik golyó elindul, az első pedig a golyók tömegének arányától függően visszapattan, megáll vagy továbbhalad csökkent sebességgel. Pedig az is egy elképzelhető eset, hogy *atomrobbanás* következik be! Hogyha ugyanis mindkét golyó 235-ös uránizotópból van, és mindkettő mérete épp a kritikus tömeg alatt van egy kicsivel, összeütkezésükkor beindulhat a láncreakció! A megkérdezett fizikus valószínűleg igencsak meg fog lepődni ezen a lehetőségen, eszébe nem jutott volna, és egy kicsit sportszerűtlennek is fogja érezni ezt a megoldást. Pedig ő is el fogja ismerni, hogy ez is egy lehetséges kimenet. Ami becsapta, az az, hogy tanulmányai során az ilyen szituációkhoz mindig a klasszikus mechanika vonatkoztatási rendszerét rendelték, a magfizika vonatkoztatási rendszere sosem merült fel.

Láthatóan az elméletekkel való bánásra vonatkozó ismeretek nem precízek, és nem mindig válnak be. Emlékezzünk vissza: tehát ezek az ismeretek *heurisztikák*. Nincsenek például algoritmusszerű szabályok új elméletek építéséhez, a munka nagy részét az intuíció végzi, heurisztikák működtetésével. A vonatkoztatási rendszerek váltogatása is a közöttük levő intuitív kapcsolatok alapján történik. Vannak aztán olyan ismeretek is, hogy egy elméletet hogyan lehet kötni a valósághoz. Például hogy az elméletben mely fizikai

mennyiségek mérhetőek, és hogyan. Vagy idetartozik az a tudásanyag is, hogy egy adott jelenséget a hozzá illeszkedő elméletben hogyan kell konkrétan modellezni (pl. a levegőben eső testekre ható erő mitől és hogyan függ), vagy éppen hogyan érdemes (a Földnek a Földön lévő testekre gyakorolt tömegvonzását a pontosabb, magasságfüggő képlettel kell figyelembe venni, vagy elegendő az egyszerűbb állandó erővel dolgozni). Ezek az ismeretek nem a formalizmusok részei. A formalizmusok valósághoz való illesztését, a formalizmusok 'menedzselését' végzik. Nem precíz megfogalmazások jellemzik őket, noha szakmai nyelven szólnak. Egy a valóságra vonatkozó fizika feladat megoldásának elején ezen a heurisztikus nyelven 'konferáljuk fel' a példát, azaz hogy milyen modellel fogunk dolgozni, és a formalizmus működtetése után ezen a nyelven 'konferáljuk le' az eredményt: azaz hogy a valóságban mit fogunk tapasztalni. Szemléltetésként néhány frappáns idézet egy középiskolás országos fizikaverseny megoldásaiból:

"Modellezzük a motorost és a motorkerékpárt egy-egy téglatesttel."

"Tegyük fel, hogy a víz sűrűsége 1000 kg/m^3 , bár a Balaton erősen szennyezett."

"Tekinthejtük a teherautót mint egy pontot, ami pontosan a súlypont."

"Mivel a Balaton kiterjedése nagyon nagy, valószínű, hogy nem olyan nagy fahasábbal kívánunk kísérletezni, aminek a bemerülése jelentősen befolyásolná a vízszint magasságát."

"Nem emelkedhet meg a teherautó, mert ha ez lehetséges lenne, akkor a gyártási előírások alapján ilyen autót nem szabad forgalomba hozni."

Az eddigiek alapján bevezethetjük a következő hasonlatot: az elméleti fizika olyan, mint egy mazsolás kalács. A mazsolák az egyes elméletek, bennük racionális, formális gondolkodás történik. A mazsoláktól anyagában eltér a kalács, mely az elméleti fizika heurisztikus részét jelképezi. A kalács-anyag körbeveszi a mazsolaszemeket, ahogyan a heurisztikus szféra elvégzi az elméletek egymáshoz és a valósághoz való illesztését.

A kalács-anyag az eddigieken felül még rengeteg mindent rejt magában. Itt lakozik például a fizikai intuíció.

Egy fizikai elmélet formalizmusának működtetése közben matematikát használunk. Minthogy a matematikai gondolkodást sem racionális, hanem heurisztikus módon végzi agyunk - emlékezzünk Hadamard homályos, intuitív képeire -, a fizikus ezzel a matematikai intuícióval dolgozik egy elméleten belül. A formalizmushoz azonban kapcsolódik egy másfajta intuíció is. A formalizmus egyes elemeinek, bizonyos mennyiségeknek, képleteknek 'fizikai jelentésük' is van. Például ha egy testet fonálra akasztunk és lengeni hagyjuk, a klasszikus mechanikai számítás szerint a test lengésidejét (egy oda-vissza lengés idejét) megadó képlet nem tartalmazza a test tömegét, a lengésidő független a tömegtől. Ez a fizikusnak a matematikai tényen felül 'fizikai' információt is jelent, érzést ad az ilyen jellegű fizikai rendszerekre vonatkozóan. Vagy amikor egy képletben több tag összege szerepel, és az egyes tagok önálló jelentéssel bírnak: például az energiaátadás különböző lehetséges formáit írják le. Ilyenkor a fizikus lelki szemeivel 'látja' a független energiaközlési utakat, módokat. Feynman is saját fizikai intuíciójáról számol be, amikor azt próbálja leírni, hogy mit is lát, amikor az elektromos és mágneses mezőre gondol. Mikor az 1920-as években kidolgozták a kvantummechanikát, Schrödinger, aki ennek a munkának az egyik legnagyobbja volt, "sivár képlethalmaz"-nak nevezte a kapott elméletet, és reményét fejezte ki, hogy idővel sikerül majd valami szemléletes képet is kialakí-

tani hozzá. Azaz: a matematikai intuíció mellé fizikait is akart. Egyébként ez a reménye mára már bizonyos mértékben teljesült: a mai fiatal fizikusok már sokkal természetesebbnek érzik a kvantummechanikát. Sokszor nem is értik azokat a paradoxonokat, amiket a régiek gyártottak annak kifejezésére, hogy mennyire nem érthető és érezhető a kvantummechanika: nem értik, hogy mi itt a probléma.

A fizikai gondolkodás sokkal gazdagabb, mintha csak a matematikai gondolkodást fogadnánk el belőle. A fizikai intuíció hatékonyságának érzékeltetésére hadd álljon itt a következő eset, mely (sajnos) velem történt meg. Boris Vian egyik könyvét olvastam, és felfigyeltem arra a részletre, amikor két ejtőernyős egyszerre ugrik ki a repülőgépből, de a nehezebb hamarabb ér földet. Tényleg reális ez? - indult meg bennem a fizikus. A kérdést egy leegyszerűsített, de bizonyos szempontból elég általános keretben fogalmaztam meg, és két napi munkámba került a válasz megadása. Néhány hónap múlva ebéd közben egy barátomnak elmeséltem a problémát. Elgondolkodott - nem tarthatott tovább két percnél -, és megválaszolta a kérdést! Hogy hogyan lehetett ez? Nem a kettőnk közti tudáskülönbség miatt (ennél sokkal egyformább a tudásszintünk), hanem mert más módszerrel dolgoztunk. Én a formalizmus nyelvén csikartam ki a megoldást, azaz lényegében matematikai problémaként kezeltem a feladatot, matematikai intuícióm működtetésével dolgoztam (sikerült is egy szép és gyors bizonyítást találnom, de ez két napba telt). Ő pedig fizikai intuícióját működtette, mely heurisztikusan adta ugyan meg a megoldást, de világosan látszott, hogy hogyan lehetne érvelését a formalizmus nyelvére lefordítva egzakttá tenni. Ez az eset számomra örök tanulságként szolgál a fizikai intuíció erejéről.

Sokszor segíti a fizikust fizikai intuíciója. Mikor egy formalizmusban dolgozik, bárkivel előfordul, hogy egy matematikai levezetésben eltéveszt valamit, vagy például a számítások elvégzésére írt számítógépprogramjába hiba csúszik. Ha a kapott eredményeket mindig ellenőrzi, hogy azok reálisak, hihetők-e fizikai intuíciója, vázlatos, heurisztikus elképzelései szerint, az ilyen hibákat legtöbbször sikerül kiszűrni. Hasznos, ha eredményeink helyességéről nemcsak az összes részlet ellenőrzésével bizonyosodunk meg, hanem egészen más módon is rá tudunk nézni. Gyakran előfordul, hogy egy hibás részleten nem akad fenn a szemünk, ugyanabba a hibába többször is beleszaladunk. Ilyenkor nagy szolgálatot szokott tenni a fizikai intuíció. (Példa erre annak az egyetemi oktatónak az esete, aki a kádból lefolyó víz tárgyalásánál minduntalan azt az eredményt hozta ki, hogy a kádban a víz szintje nem süllyed, hanem ellenkezőleg: emelkedik!)

Egy elmélethez szorosan tapad a hozzá kapcsolódó fizikai intuíció. Az elméletben való gondolkodásunk során aktívan felhasználjuk, így az elméleti fizika egy egységének, vonatkoztatási rendszerének nem pusztán egy elmélet tekintendő. Egy elmélet a rá vonatkozó fizikai intuícióval együtt alkot egy vonatkoztatási rendszert. Fontos viszont megállapítani azt is, hogy egy ilyen vonatkoztatási rendszer két alacsonyabb szintű vonatkoztatási rendszerre bomlik, aszerint, hogy épp egy elmélet formális, racionális nyelvén, vagy a fizikai intuíció szférájában, az ottani 'kvázilogika' útján gondolkodunk. Ennek a két területnek a kapcsolatára, a mazsolaszemek konkrétabb kinézetére még visszatérünk.

Egy fizikai elméletben a fogalmaknak, az állításoknak matematikai alakjuk mellett heurisztikus 'fizikai' jelentésük is van. A heurisztikus jelentés az elmélethez kapcsolódó intuitív szférában foglal helyet. Vannak azonban olyan heurisztikus fizikai fogalmak és állítások is, amelyek több elméletben is testet öltenek. Ilyen fogalom például az 'energia', a 'tömeg', a 'hullám', az 'állapot', az 'egyensúly'; ilyen állítás az 'energiamegmaradás elve', a 'tömeg és energia ekvivalenciája', az 'okság elve', a 'relativitás elve'. Ezek a fizika

története során gyakran hasznos vizsgálati szempontokat jelentettek, jó ötleteket, elvárásokat adtak az újabb és újabb elméletek kidolgozásakor. Ezért van ilyen általános jelentésük: sok elmélet valósította meg heurisztikus mondanivalójukat. Persze minden új elméletben való megjelenésük árnyalja, módosítja intuitív jelentésüket. Közvetlen szerepük csak az egyes elméleteken keresztül van, melyekben megjelennek. Konkrétan felhasználni csak egy elmélet formális keretében lehet őket. Van azonban közvetett hatásuk, értékük is: megtermékenyítőleg hatnak új fizikai elméletek építésénél. Vannak olyan elméletek, ahol nem válnak be, ahogy ez már heurisztikákkal lenni szokott. Pontatlanságuknál fogva közvetlenül nem használhatók fel, csakis konkrét elmélet keretében, de minél pontatlanabbak, annál több elméletben lehet megvalósítani őket: pontatlanságuk az erényük is.

A paradigma is a kalács-anyagban foglal helyet. A kalács-anyagban mozogva a fizikusok egy sajátos logikát használnak. Amikor egy fizikus a kalácsban van, érvelése nem precíz következtetés, gyakran csak hihető sejtéseket tud felsorolni, melyek alapján eléggé bizonyosnak látszik állításának igazsága. Sokszor előfordul ugyanis, hogy a formalizmushoz szükséges matematika még nincs kellően kidolgozva, vagy hogy az elmélet alátámasztásához szükséges bizonyos kísérletek technikailag még nem végezhetőek el. Ettől azonban még nem torpan meg a kutatás, csak óvatosabban illik továbbhaladni. Ha az általános hit, a 'folklor' szerint valami igaz, az már elegendő alap szokott lenni ahhoz, hogy a kutatók erre a hihető, de még nem bizonyított állításra alapozzanak további kutatásaiknál.

"A fizika igazán alapvető problémái mindig egyszerűen elmagyarázhatók, bonyolult matematikai érvelések és egyenletek nélkül." - állítja Weisskopf. Az egyik legnagyobb szovjet fizikus, a Nobel-díjas Landau intézetében dívott a következő mondás: ha a ház-mesterednek nem tudod elmagyarázni, hogy mivel foglalkozol, akkor nem érted eléggé a témádat. Hogyan lehetséges ez, elnézve az absztrakt és bonyolult formalizmusokat? A kalács-béli heurisztikus nyelvezet segítségével. A szemléletes képek, a valósághoz való illeszthetőség teszi lehetővé a lényeg bárki számára megérthető megfogalmazását. Néha az érvelések egyes lépései is elmagyarázhatóak szemléletesen, általában viszont inkább csak a kiindulópont és a végeredmény. Vigyázni kell azonban: a heurisztikus magyarázat igazából csak érezhető, de nem érthető! A pontos megértéshez szükség van a szakmai nyelv és gondolkodásmód ismeretére is. Sokszor előfordul, hogy a laikus 'készpénznek veszi' a szemléletes megfogalmazásokat: azt hiszi, hogy a fizika nem is több annál a stílusnál, mint amit a fizikus az érzékletes magyarázathoz használ. A heurisztikus szavak és érvelések nem a fizika egyedüli módszertana. Ha egy elméleti fizikus dolgozik, arra nem azt mondják, hogy gondolkodik, hanem azt, hogy: számol. Kemény formalizmushasználat feszül a heurisztikusan megfogalmazható kiindulás és végeredmény között. Amit Weisskopf és mások mondanak, az az, hogy a formalizmus a lényegét tekintve csak másodlagos: nem cél, hanem eszköz. Ismerve az emberi gondolkodás vonatkoztatási rendszereinek a valósághoz való korlátozott alkalmazhatóságát, az elméleti fizika jól is teszi, ha a célt nem egy formalizmusban, hanem több formalizmus konstruktívan felhasználható, intuitívan átfogható rendszerében látja.

Már esett szó arról, hogy egy heurisztikus fogalomnak, elvnek, érvelésnek annyi közvetlen értéke van, amennyire egy formalizmus keretében precízen megfogalmazható. Közvetett értéke máshol, megtermékenyítő erejében rejlik. A fizika a precíz, az egyértelműség miatt használja a matematikát munkájában. Az eddigiekben az elméletek formalizmusai mint a tökéletes racionalitás bástyái tűntek fel szemünkben. Ha azonban kö-

zelebről megnézzük őket, maguk a formalizmusok sem tiszta matematikát művelnek, aminek meg is van a maga eredménye, amint az az első fejezetben bemutatott szimptomákból is kiderül. A helyzet az, hogy az elméletek jelenlegi formájukban nem válnak el élesen a hozzájuk tapadó fizikai intuíciótól. Nagymértékben össze vannak keveredve, jobban, mint azt a szakmabeliek többsége hinné. Ahhoz, hogy egy formalizmus teljesen precíz és egyértelmű legyen, szükséges, hogy az összes (ismétlem: az összes!) benne szereplő fogalom matematikailag definiált legyen, másrészt az összes felhasznált matematikai tétel felhasználásánál ellenőrizni kell, hogy teljesülnek-e a tétel érvényességéhez szükséges feltételek.

Hogy mennyire vigyázni kell, hogy a fogalmak teljesen pontosan, matematikailag legyenek meghatározva, szemléltetésül álljon itt a következő paradoxon. Tekintsük azokat a pozitív egész számokat, amelyeket magyar nyelven legfeljebb ezer karakterrel (betűvel, írásjellel és szóközzel) le tudunk írni. Például: száz, háromszázhuszonhétezer-nyolcszázkilencvenkettő, tíz a huszonkettediken, stb. Véges sok karakter áll rendelkezésünkre, ezeknek véges sok ezer hosszúságú variációja lehetséges, tehát csak véges sok ilyen szám van. Közülük van legnagyobb, jelölje ezt N . Ekkor $N + 1$ 'az a szám, amelyik eggyel nagyobb, mint a magyar nyelven legfeljebb ezer karakterrel leírható számok legnagyobbika'. Ha most összeszámoljuk az idézőjelen belüli karaktereket, ezernél kevesebbet kapunk. Hoppá, akkor sikerült $N + 1$ -et is ezernél kevesebb karakterrel leírni. Ez viszont ellentmond annak, hogy N a legnagyobb ilyen szám! Ha visszanézünk, az érvelés teljesen hibátlan. A paradoxont az okozza, hogy az egyik felhasznált fogalom nincs jól definiálva: mit jelent az matematikailag, hogy 'magyar nyelven legfeljebb ezer karakterrel leírható'?

A fizikai elméletekben rengeteg olyan fogalom van, amely annyira szemléletes, érzékletes, hogy fel sem merül az igény, hogy matematikai meghatározást adjunk hozzá. Csak néhány példa: az esemény, az állapot, a fizikai mennyiség, a megfigyelő. Ha egy fizikus melléne szegezzük ezeknek a fogalmaknak egyikét-másikat, valószínűleg úgy fogja érezni, hogy egy-két perc alatt meg tudná adni a matematikai definíciót, másrészt az lesz a véleménye, hogy egyáltalán nem lényegbe vágó, hogy ezek a fogalmak tökéletesen pontosan meg legyenek határozva. Pedig nincs igaza. Nem fog tudni két perc alatt jó definíciót adni, valószínűleg egy óra alatt sem. Véleményének pedig ellentmond az a tény, hogy például a kvantummechanikai méréselmélet zűrzavara nagyrészt annak köszönhető, hogy nem jól definiált fogalmakkal próbálnak operálni, pont a fent felsoroltakkal.

Egy magyar fizikus, Matolcsi Tamás megfogalmazott és elindított egy programot, melynek az a célkitűzése, hogy a fizika elméleteinek a formalizmusa, az ún. matematikai modell tényleg tiszta matematika legyen. Ahol a matematika erényeit akarjuk eszközként felhasználni, ott tartsuk be a matematika művelésének szabályait is. Formalizmusbeli fogalmaink, állításaink, következtetéseink tisztán matematikaiak legyenek.

Két dolgot fontos megjegyezni ezzel a programmal kapcsolatban. Az egyik az, hogy ez a program nem a fizika fogalmait és állításait akarja matematikáivá tenni. A fogalmak és állítások *modellbeli vetületét* kívánja a matematika nyelvén megfogalmazni. Nem akarja felszámolni az elméleti fizika intuitív részét. (Nem is tudná.) Az elméletek formalizmusát kívánja megkülönböztetni a hozzá kapcsolódó fizikai intuíciótól. A matematika helye a modellben van, a heurisztikák helye pedig a modellen kívül.

A másik fontos megjegyzendő pedig az, hogy a program nem az - elméleti fizikában néhány kutatónál fellelhető - öncélú formalizmusgyártást műveli. Itt a matematikai megformálás elsődleges szempontja az, hogy a matematikai modell tényleg minél jobban tükrözze a valóságot.

Például, a fizikai mennyiségek értékeit egy mérőszám és egy mértékegység jellemzi (pl. távolság: 3,2 méter). Tudjuk, érezzük, hogy a valós számok halmaza nem igazán jól modellezi a lehetséges távolságértékeket, hiszen ha más mértékegységet választok, más mérőszám fogja ugyanazt a távolságértéket jellemezni. Ráadásul a mértékegységváltásnak matematikai jellegű szabályai vannak, a mértékegység nem csupán egy jel, ami ott 'fityeg' a mérőszám mellett. Mégis, a szokásos fizika formalizmusai valós számoknak tekintik a fizikai mennyiségek értékeit. Így fordulhat elő az a hiba, amikor a statisztikus fizikában, vagy a kvantumtérelméletek bizonyos axiomatikus megközelítéseinél különböző jellegű fizikai mennyiségeket adnak össze. Ha valaki lelki szemei elé tudja képzelni a 'lehetséges távolságértékek halmazát' (azaz megvan ez a fizikai intuíciója - nekem például az összes elképzelhető különböző hosszúságú cérnaszálak halmaza jelenik meg a szemem előtt), másrészt rendelkezik a 'nemnegatív valós számok feletti egydimenziós vektortér' matematikai fogalom matematikai intuíciójával, az egyből látni fogja, hogy ez a matematikai fogalom sokkal jobban, hűebben modellezi a távolságértékek halmazát, mint a 'nemnegatív valós számok halmaza'. (Akik nem szakmabéliek, ne ijedjenek meg, mondanivalóm szempontjából teljesen lényegtelen, hogy mit jelentenek ezek a matematikai szakki-fejezések!) A 'nemnegatív...vektortér' modell lehetővé teszi, hogy közvetlenül magukat a fizikai mennyiségeket modellezzük, nem pedig azoknak egy önkényesen választott mértékegységhez való viszonyát. Keretében modellezhető a mértékegység-választás, és a mértékegységváltás is (teljesítve természetesen az elvárt szabályokat). Másrészt, ellentétben a 'nemnegatív valós számok halmaza' modellel, nem tartalmaz olyan elemeket, amelyeknek nincs valóságbeli megfelelője (pl. három a másodikon \longleftrightarrow három méter a két méterediken?).

Tömören szólva, a program célja nem a valóság *modellezése*, nem is a *valóság* modellezése, hanem a *valóság modellezése*.

A program ezidáig a klasszikus mechanika, a klasszikus elektrodinamika és a kvantummechanika matematikai modelljével készült el. Jelenleg a termodinamikával foglalkozik, de a fizika szinte mindegyik elméletéhez rendelkezik már kiindulópontokkal, ötletekkel. Máris több szép eredményt sikerült elérnie (kiderült például, hogy az elektromos töltés körüli energia nem végtelen, hanem értelmes véges mennyiség). Elsősorban persze a már lezártak tekintett elméletek esetén lehet a program célját megvalósítani. Mégis, az élvonal bármely, elméletileg még nem letisztult kutatási területéhez is szempontot ad: lebegjen a kutató szeme előtt, hogy amikor elmélete lezárul, az végül tiszta matematikai modell legyen. Ráadásul a munka során jópár általános észrevételt sikerült tenni a fizikai elméletekre vonatkozóan, amelyek megtermékenyítőleg hathatnak bármelyik jelenlegi és jövőbeli elméletre.

Mindezek alapján a mazsolás kalács hasonlatot a következőképpen finomíthatjuk. Minden mazsolaszem (elmélet) anyagának egy része ki van kristályosodva (matematikai formalizmus). Hogy ennek a kristálynak a keménységét és tisztaságát kifejezzük, arra gondolhatunk például, hogy a mazsolát alkotó molekulák széntartalma gyémánttá állt össze. (Gyakran tényleg olyan nehéz az elméletek formalizmusát matematikaivá tenni, mint a mazsola molekuláiból gyémántot előállítani! Mindazonáltal ha valaki jobb hasonlatot tud, szóljon!) A mazsola anyagának egy része (a szénen kívüli összes egyéb alkotórész) azonban kimarad a kristályból - az egyes elméletekhez tapadó fizikai intuíció nem fölszámolódik, hanem csak elkülönül a formalizmustól. Így a mazsola maradék része továbbra is valami képlékenyebb formában lesz jelen. A kalács-anyag pedig ezentúl az elméletek közötti intuíciót modellezi. A gyémánt rész kemény, de merev, a heurisztikus rész puha, de rugalmas. Együtt szolgálják az elméleti fizika érdekeit.

Negyedik fejezet

"A csodák nem a természet ellenére történnek, hanem annak ellenére, amit a természetről tudunk."
(Szent Ágoston)

"Mit nevezünk csodának? A ma tudománya a tegnapi csodája."

"...de hát miért van ez így? Nos azért, mert ilyen a természet. Nem vethetjük a szemére, hogy nem úgy viselkedik, ahogy felületes ismeretség alapján elvárnánk."
(Baranyi Károly)

Minden fizikai törvény, elmélet valamire vonatkozik. És ennél a lépésnél mindjárt azt is megmondtuk, hogy mire nem. Még amiről szól, arra is csak közelítőleg lesz igaz, például a modell készítésekor történő elkerülhetetlen leegyszerűsítések miatt.

"Ha a modell jól illeszkedik a valósághoz, jóslatai nagymértékben beválnak. A sikeres modellt könnyű összetéveszteni a valósággal. A siker pedig gyakran válik dogmák szülőanyjává." - írja Marx György, neves magyar fizikus. Az anekdota szerint egy magyar egyetemi oktató még a század közepe felé egyszer kijelentette, hogy a természetben csak 16 elemi részecske van, mert a rájuk vonatkozó elmélet 'így szép'. És erre állítólag meg is esküdött! Azóta kb. 250 új elemi részecskét fedeztek föl...

Az ókorban még nem volt világos a valóság és a róla szóló szavak különbözősége. Akkor még nem kísérleteket, hanem logikai dedukciót alkalmaztak a megismeréshez. A logikát a természet szabályosságának hitték, nem csak a gondolatmenetek szabályosságának, sőt nem is vált szét a kettő. Még Galileiről, a nagy kísérletezőről is kiderült nemrégiben, hogy nevezetes lejtőkísérletét sosem végezte el. Olyan érzékletesen írta le a kísérlet menetét, hogy sokáig eszébe sem jutott senkinek kételkedni abban, hogy azt ténylegesen végrehajtotta-e. Aztán egyszer valakinek az az ötlete támadt, hogy az aprólékos leírás alapján reprodukálja a kísérlet menetét, és ekkor kiderült, hogy azt a leírt formában nem lehet elvégezni! Galilei annyira hitt elmélete helyességében, hogy gondolatkísérletét valóságosan elvégzett kísérletnek tüntette föl.

A modellnek a valósághoz való tökéletlen viszonyulását jól jellemzi az a középiskolás aranyköpés, mely egy versenyfeladat megoldásában volt olvasható: "A tömegpontot nekitámasztjuk a falnak..." Ha az időjárás megjóslásához a légkör mozgását egyenletekkel számítógépen tárgyaljuk, senkinek nem jutna eszébe a számítógép memóriájában lévő 1-esek és 0-k halmazát a légkörrel összekeverni. Világos, hogy az egyik a jelenség, a másik pedig egy rá alkotott emberi modell. Más elméleteknél viszont gyakran előfordul a modell összekeverése a valósággal. Így volt ez valaha a klasszikus mechanikával, vagy később a kvantummechanikával. Mostanában pedig például a Világegyetem bizonyos modelljeinél fordul elő, hogy a kutatók úgy érzik, hogy modelljük az egész világot leírja, tehát őket magukat is, és egyszercsak azt érzik, hogy belekerültek a saját modelljükbe, hogy modelljükből annak is ki kell jönnie, hogy ők élnek, sőt annak is, hogy ezt a modellt megalkotják. Elhatalmasodik rajtuk az érzés, hogy a saját modelljük meghatározza őket, és ez az érzés megbénítja gondolkodásukat, akadályozza szakmai munkájukat. Beragadnak egy csapdába, egy vonatkoztatási rendszerbe.

Szabadulásuk egyik útja az lehet, ha eszükbe jut, hogy modelljük csupán a Világegyetem nagyléptékű szerkezetére: a csillagrendszerek rendszereinek tér- és időbeli eloszlására óhajt elméletet adni. Vagyis csak igen durva közelítésben tárgyalja a Világegyetemet. A másik kijózanító dolog az, ha realizálják, hogy ők most épp bele vannak ragadva az emberi gondolkodás egyik vonatkoztatási rendszerébe. Ha felidézik, hogy agyunk mennyire tökéletlen szerszám, vonatkoztatási rendszerei milyen gyatra viszonyban állnak a valósággal, ha önkritikát gyakorolnak gondolkodásuk felett, felsóhajtva és megkönnyebbülten kiléphetnek a csapdából. "Az univerzumnak is, egyetlen atomnak is potenciálisan végtelen sok szabadsági foka van. Agyunkban azonban véges a neuronok száma. Korlátos agyunkkal, korlátos számítógépeinkkel egyszerre csupán véges számú változást vagyunk képesek figyelembe venni. A kimeríthetetlen mindenség helyett annak koponyánkba, komputerünkbe férő modelljeit használjuk predikcióra." - fogalmazza meg ugyanezt kissé más szemszögből Marx György.

Attól, hogy egy jelenségre sok ismeretem összegyűlik, a jelenség még nem fog megváltozni egy cseppet sem. Mikor először van alkalmunk mikroszkópon keresztül meglátani, hogy az ivóvízben mennyi apró micsoda nyüzsög, elborzadunk: ezt isszuk mi? Hirtelesen azt gondoljuk, a sok kis micsoda miatt a víz biztosan nagyon káros szervezetünkre. Pedig ha megnézzük, nem a jelenség, a víz változott meg, csak a rá vonatkozó tudásunk. A tudás azonban nem kell, hogy érzelmileg sokkoljon bennünket. Tudásunk mindig rész tudás, a sok kis micsoda ellenére az ivóvíz hasznos lehet testünknek, pillanatnyi tudásszintünkön mit tudjuk azt mi felmérni? A tapasztalat szerint a víz továbbra is jóleső és hasznos lesz szervezetünknek, és ez a lényeg. A színek, a hangok is szépek maradnak, hiába tudjuk meg róluk, hogy 'csak' bizonyos elektromágneses illetve hangrezgések. Az ételek molekuláris összetevőik ellenére is ugyanolyan finomak maradnak. Lépünk ki a vonatkoztatási rendszerből, és elmosolyodunk: nahát, az előbb milyen komolyan vettem magam!

A fizika bármelyik fogalma pontosan annyira létezik, mint egy aranygyűrű értéke: csak emberek számára, a társadalomban létezik. Az elméleteket, törvényeket emberek készítik. Azt mondjuk: ez a dolog ezért és ezért van így. De a természetben ez egyszerűen csak: van. Mi csinálunk axiómákat, a természet nem. A fizika története során semmivel sem tudtunk meg többet arról, miért is ilyen a világ, hogyan is működik valójában. Hiszen minden 'miért?' kérdésre adott válaszukhoz valami alapvetőbb feltevésből indulunk ki. És a következő lépésben azt kérdezhetjük meg, 'és az miért van?'. Ahogyan a kisgyermek szokta vég nélkül kérdezősködni.

Az intuíció nem a felismerés képessége, hanem a frappáns megfogalmazásé. Mérő László a sakkra vonatkozóan fogalmazza ezt meg: "Ha a sakknagymester hosszan gondolkodik, többnyire nem azt számolgatja, hogy mi történik, ha én ide lépek, ő meg oda, hanem azon töri a fejét, hogy mi legyen a *mondanivalója* az adott helyzetben." A fizikában nem felfedezünk, hanem feltalálunk elméleteket. Olyan formalizmusokat keresünk, amelyek jól eltalálják, megfogják a vizsgált jelenségekört. Egy elmélet nem 'leírja', hanem 'elég jól leírja' a jelenségeket.

Az elméleti fizika nem igazságot keres, hanem feladatot végez el. Agyunkával jóslatokat tenni a világban. Milyen szituációban mi fog történni. Ahogyan az emberiség egyre jobb szerszámokat, eszközöket fejlesztett ki pl. tűzgyújtásra vagy egy hegy elhordására, egyre jobb elméleteket - agyi szerszámokat - hoz létre a valósággal való egyre sikeresebb foglalkozás céljára.

Nem érdemes remélni az egész világot leíró elméletet. Az elméleti fizika egységét még a paradigma is csak abban fogalmazza meg, hogy a világ bármelyik jelenségére van

vagy készíthető elég jó elmélet. Valójában pedig még ennél is szerényebbnek illik lennünk. Elnézve a fizika történetét, mai állapotát is belevéve, bizony mindig sok jelenség kimaradt az elméleti fizika hatósugarából. Örüljünk hát minden részsikernek, a teljes lefedés valószínűleg sosem lesz elérhető. Ahogyan a magyar fizikushallgatók éneklük:

"Harmonikus oszcillátor, hidrogénatom,
van-e más is a világon, én nem tudhatom."

Se 'racionalitás', se 'egység', sem 'igazi megértés'. Korlátok mindenütt. Az elméleti fizika meglehetősen szárnalmas, kiábrándító látványt mutatva áll előttünk. Meztelen a király. Hát érdemes csinálni a fizikát? - vetődik fel ennél a pontnál a legtöbb szakmabéliben. Hát lehet ezek után lelkesedni a fizikáért? - kérdezi joggal a fizika iránt (eddig legalábbis) érdeklődő Olvasó. Súlyos, komoly kérdés, de azért lehet válaszolni rá. A minimális válasz az, hogy: bizonyára, hiszen a szerző még ma is lelkesedik a fizikáért. De ennél azért jóval több is mondható.

Marx György válasza tömören a következő: ha a modell működik: öröm; ha határai felbukkannak: friss kihívás - izgalom. Egy átfogóbb, bővebb válaszadás pedig a következő lehet. Van, aki a fizikában elsősorban azt szereti, hogy általa a valósággal lehet foglalkozni. Kíváncsiságát akarja a fizika által kielégíteni. Őneki a következőt lehet mondani: továbbra is a természettel foglalkozol, csak most már tudod, hogy nem teljesen objektíven. Továbbra is a fizika az eddig kitalált legjobb mód a természet ezen jelenségeivel való foglalkozásra. Csak most már tudod, hogy eleve távolabbról nézed a természetet, mint eddig gondoltad. Ez nehezebb feladatot ró rád, de ez egy izgalmas kihívás. És: a fizikáról most megtudtak konstruktív segítséget is fognak nyújtani abban, hogy mikor mennyire a természetet és mikor mennyire az emberi gondolkodás által termelt délibábokat látod.

Másokat inkább a fizikában művelt emberi gondolkodás, a szellemi teljesítmények érdeklik. Ők az elméleti fizika által okozott intellektuális élmény miatt lelkesednek a fizika iránt, ez viszont nagyrészt független attól, hogy az elméletek a 'természet szava'-e vagy sem. Mivel továbbra is eléggé a 'természet szava', nem sokban sérül az az élmény, hogy az elméleti fizika a valóságról való gondolkodás. (Aki pedig mindkét szempontból lelkesedik a fizikáért, az most két vigaszt is kapott.)

Ennek ellenére bizonyára nem könnyű feldolgozni ezt az élményt. Sok időbe, töprengésbe és vívódásba kerülhet bárkinek. Mindenesetre *fogyatékoságai ellenére is szerethetünk valakit vagy valamit, legfeljebb néhány illúziókat kell félretenni.* Ezt tudja hát válaszolni a szerző.

Végül: mi legyen a módszer, a hozzáállás a most felismertek fényében? Az elméleti fizika művelésének stratégiája Marx György megfogalmazásában:

1. A valóság megfigyelése és tisztelete.
2. A lényeges vonások, fontos adatok kiválasztása.
3. A kérdéses adatok változását értelmező, kevés szabadsági foka és szemléletessége folytán nyomon követhető modell megalkotása.
4. A modell működtetése további jelenségek előrelátása céljából.

5. A következtetés ellenőrzése kísérletekkel, a modell érvényességi határainak letapogatása.
6. A modell magabiztos gyakorlati alkalmazása az érvényességi határon belül.
7. Az érvényességi határon túl a modell javítása, gazdagítása, kutatás újabb modell után: GO TO 3.

És: "Modelljeink változnak, fejlődnek, sokasodnak. Válogatva közülük, változtatva őket mégis megmagyarázhatunk bármely természeti jelenséget. Dialektikus modellhasználatnál mindjobban megértjük a való világot, előbbre látjuk eseményeit, emberibbé alakítjuk azt. Végtelen ugyan a kutatás, de konvergens az egyes problémáknál alkalmazott szukcesszív approximáció. A tézis és antitézis lépcsőfokain egyre magasabbra emelkedhetünk."

Keressük az egyszerűséget, és ne higgyünk neki. *Minden gondolkodás tökéletlen, sose egy gondolkodásban, felfogásban, vonatkoztatási rendszerben higgy, hanem a vonatkoztatási rendszerek változtatásában, az örökös váltásokban, és az ezeken való felülemelkedésben: a nevetésben.*

Felhasznált irodalom

(a teljesség igénye nélkül: csak a főbb, érdekesebb, illetve többször felhasznált források megemlítésére vállalkozhatom):

Mérő László: Észjárások (Akadémiai Kiadó, Optimum Kiadó, Budapest, 1989)

Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete (2. bővített kiadás, Gondolat kiadó, Budapest, 1981)

S. Hawking: Az idő rövid története (Maecenas, Budapest, 1989)

M. Zemplén Jolán: A háromezer éves fizika (Franklin-társulat, Budapest, 1946)

Landau-Lifsic: Elméleti fizika IV. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1979)

Feynman-Leighton-Sands: Mai fizika 6. (2., javított kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986)

Matolcsi Tamás: Analízis I. (egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1990)

Baranyi Károly: A fizikai gondolkodás iskolája (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1992)

Marx György: A természet játéka (ILK, Budapest, 1985).

Az ábra szerzője Benatos Patroklos.