

## REFLEXIÓK

A hosszú évtizedeken és mondhatni évszázadokon át bizonyos értelemben egységes tudománynak számító fizika kettéhasadt. E folyamat alig észlelhető kezdet után egyre gyorsuló ütemben zajlott le, és ennek során a kísérleti és elméleti fizika, a kísérleti és elméleti vonalon specializált kutatások önálló kibontakozása rövidesen befejezett tényévé vált. A fejlett matematikai módszerek gyors behatolása a fizikába lényeges méreteket a XIX. század végén kezdett öltetni. Gyorsabban a mechanikában, majd az optika és termodinamika területén ez a folyamat „váratlanul” kirobbantja a Maxwell-féle elektromágneses elméletet (1879). James Clark Maxwell a kísérleteket csak távolról, mások révén ismeri (életében egyetlen kísérletet sem végzett), de mégis sikerült neki a mások felfedezte törvények általánosítása, axiomatikus rendezése, és egy algoritmizálható modell alapján ellentmondásmentes, csodálatosan koherens, egységes rendszerbe való foglalása.

Ez az eddig egyedülálló jelenség válik a mai elméleti fizika csirájává, amely különösen az első világháború után áttérjed a fizika minden ágára, és létrehozza azt a folyamatot, amelyben az elmélet viszonylagosan elválik a kísérleti fizikától. Ennek gyorsítását néhány, a fizikán belül fellépő szükségszerűség táplálja. E belső okok térítik elsősorban a kutatást olyan elméleti vonalra, amely egyedül képes megoldani a kísérletek jelezte és elháríthatatlannak tűnő belső ellentmondásokat.

A legszebb példa erre Albert Einstein — az elméleti kutató klasszikus prototípusának — élete és műve.

Speciális relativitáselméletének (1905) és az általános relativitás elméletének (1916) felállításával neki sikerült az elméleti fizikát addig nem sejtett csúcsokra emelni. Az új — a klasszikus fizikán belül észlelt ellentmondások feloldásaként született — elméleti relativista felfedezések ellentmondásmentes belső logikája olyan megdöbbentő, hogy az azóta eltelt hatvan év során — a kvantumelmélettel egyetemben — behatolt az emberi gondolkodás legszélesebb szféráiba, és úgy tűnik, a modern világ logikájának alapelemévé válik.

A relativitás elmélete talán leginkább az a terület, amely eszményien alkalmas a fejlődés belső logikai tényezője szerepének és erejének illusztrálására.

Egy viszonylag szűk területről (a maxwelli problematikából) eredő gondolatként indul, hogy egy csapásra átfogja az anyagi jelenségek kvázi-teljes szféráját, kezdve a mozgással és zárva a tér-idővel és a gravitációval. E megdöbbentő általánosságát éppen belső koherenciájának, alappozitívumai egyszerűségének, stabilitásának, ellentmondásmentes logikájának és mindezekkel szoros összefüggésben gazdag és elegáns matematikai apparátusának köszönheti.

A relativitás elmélete nem támaszkodik kísérletekre, de általuk ellenőrizhető.

A relativitás elmélete nem társadalmi rendelés eredménye, és nem is a külső (általános tényező) hatására fejlődik ki, mégis számos és olyan kiterjedt tudományos erőfeszítések terméke, amelyeket többé-kevésbé a társadalmi termelés és technológia szükségleteire épülő elméleti és kísérleti kutatás legszélesebb síkjain végeztek.

Valamely felfedezés természetének és szerzője érdemeinek helyes értékelése

végezt mindenekelőtt meg kell ismernünk azt a terepet, amelyen a felfedezés létrejött, és azokat a feltételeket, amelyek között szerzőjük dolgozott. S amikor ehelyütt terepről és feltételekről beszélünk, mindenekelőtt azon eszmék, szükségletek, áramlatok és megvalósítások összességét értjük, amelyek valamely hipotézis vagy elmélet felépítését megelőzték. Továbbá számot kell vetni a matematika, a kísérleti eszközök és apparátusok, az általános tudományos színvonal és a létező anyagi, szellemi és erkölcsi feltételek fejlettségi fokával, egyszóval azzal a társadalommal, amelyben él és alkot a vizsgált szerző. Talán nem is létezik megfelelőbb elmélet és alkalmasabb szerző e feltételek illusztrálására, mint éppen Albert Einstein.

Gyakran szokták hangoztatni, hogy ő és elmélete úgy robbant bele az ignorancia és stagnálás mocsarába, mint egy izzó meteor a sötét éjszakába. Meggyőződésünk, hogy semmi sem értalmasabb a tudomány számára, mint az ilyen feleltlen nagy szavak, melyek nemcsak, hogy nem felelnek meg a valóságnak, hanem meghamisítják a tudomány egész történetét, és elrejtik azokat a finom relációkat, amelyek a fejlődés belső és külső tényezői, az önfejlődés és társadalmi rendelés között állandóan működnek, valamint azokat, melyek a fejlődés éppen megcsillanó új vonalába, a fizika kettéhasadásának törésvonalába esnek.

Sohasem szabad elfelejtenünk vagy lebecsülnünk azokat a bátorosan vagy éppenséggel nagyvonalú, de sikertelen kísérleteket, amelyek a szóban forgó felfedezést megelőzték, még ha éppen akkor nem is vezettek azonnali pozitív eredményekre. Tulajdonképpen részleges vagy éppenséggel negatív eredményekkel zárt próbálkozások (azok, melyeket oly gyakran és igazságtalanul sikertelenségek és terméketlenségek minősítenek) készítik elő a talajt, tisztítják meg az utat, szelektálják a szóban forgó problémákat, és az esetek döntő többségében irányítják a kutatásokat (vagy ráirányítják a figyelmet) azokra a pontokra, amelyekben azután a döntő és lényeges felfedezések születnek.

Ezek a próbálkozások a legszebb bizonyítékai a tudományfejlődés belső tényezői jelentőségének, és minél számosabbak, annál jelentősebb a szerepük.

A részleges eredmények rendezése, az egyes szinteken és fokokon elért ismeretek szisztematizálása, belső összevetése és logikai szűrőn való filtrálása vezet e tényezőknek a megfelelő matematikai apparátussal történő összefonódás révén új eszmék, hipotézisek és felfedezések megjelenéséhez. Ezt a folyamatot nevezzük ma: a tudomány önfejlődése belső útjának.

1895 táján a relativitás elméletének megjelenése küszöbön áll. Elsősorban is az elektromágneses mezőknek a newtoni axiomatika feltételei között történő tanulmányozása során felbukkant riasztó ellentmondások már nem voltak elkerülhetők. A természetet átfogó éteren alapuló és azóta híressé vált kísérletek (1881—1895 Bradley, Fizeau, Michelson), valamint az éterszél létezését valló két elmélet (1895—1900 Lorentz, Hertz) olyan ellentmondáshoz vezettek, amely tűrhetetlenné vált a fizikában. A tér-idő és mozgás tulajdonságai egyre különösebbek lettek, és nem lehetett őket beleszorítani a newtoni, illetve maxwelli axiomatikába. A Levi-Civita, Elie Cartan és mások kifejlesztette matematikai apparátus mintha csak a terepet készítette volna elő. Lorentz, Poincaré, Eddington és mások mintha csak adott jelre vártak volna, külön-külön és együttvéve majdnem egyidejűleg 1900—1905 között jelezték már a kibontakozás szükségességét. Az általuk javasolt megoldások azonban nem feleltek meg sem részben, sem egészében azoknak a maximális követelményeknek, amelyeket a jelezett belső ellentmondások előírtak.

Einstein fellépése tehát nem véletlen. Ha nem ő, akkor más, előbb vagy utóbb, de teljesen bizonyosan eljutott volna az annyi fáradsággal és intelligenciával előkészített út végére.

Az a tény, hogy a vázolt helyzet majdnem teljesen hasonló a kvantumok fel-fédezésének körülményeihez (mind ami a klasszikus fizikán belüli ellentmondásokat illeti, mind a megoldás időpontját illetően — 1900 körül), csak aláhúzza a fizika fejlődésében szerepet játszó belső tényező jelentőségét. Ez a tényező amely — mint láttuk — jelentős volt az 1910-et megelőző korszakban, döntő tényezővé válik azután — a fizika számára mindmáig talán legtermékenyebb korszakban — a két világháború között.

E korszak kezdetén bizonyos átrendeződés és reprofilirozás, sőt mondhatnók, a lényeges célkitűzések újra fogalmazása tapasztalható a fizikában. Az eddig uralkodó mechanika egyre inkább átmegey a mérnöki tudományok hatókörébe, illetve a matematika egyik alkalmazott ágává alakul. Az optika megváltoztatja célkitűzéseit, módszereit és arcélét. Az elektromágneses, gravitációs és kvantum-mezők egyre nagyobb szerepet kezdenek játszani a fizikában az anyagszerkezeti problémákkal egyetemben, melyekből e periódus vége felé kialakul az atom- és magfizika, rányomva bélyegét modern életünkre. Megjelennek az új tudományágak első csirái, az elektronika, a szilárd testek és az alacsony hőmérsékletek fizikája, és kezdenek körvonalazódni egyrészt a fizika, másrészt a kémia, asztronómia, biológia közti új határtudományi tartományok.

A jelzett lendület azonban nem csupán mennyiségi.

A vázolt tevékenység általában a kutatások minőségi szintjére és sajátosan az elért eredmények jelentőségére vonatkozik. Amire elsősorban fel kell figyel-nünk, az a létrehozott új elméletek és irányzatok méreteit és grandiozitását illeti, mely elméletek és irányzatok megfellebbezhetetlenül betörnek az emberi gondolkozás legszélesebb szféráiba, és előkészítik ezzel azt a tudományos-műszaki forradalmat, amely a második világháború után bontakozik ki.

A fizika e lavinaszerű fejlődésében sokoldalú okok játszottak közre.

Az októberi forradalom győzelme és az első szocialista ország megjelenése a világ térképén óriási tudományos — elsősorban emberi és anyagi — értékeket vont be a nemzetközi forgalomba. A kapitalista termelési mód mellett megjelenő második, szocialista termelési mód mindkét fronton új és jelentős társadalmi rendelkezéseket eredményez. Az ipari termelés szükségletei ugrásszerűen megnőnek és a kutatók rendelkezésére bocsátott anyagi lehetőségek (laboratóriumok és eszközök) sokkal változatosabbak, mint a múltban. E külső, általában jól ismert és igen általános tényezőkhez még hozzáadódik egy szociális-emberi: a tömegkultúra kiterjedése, a tudományos érdeklődés, tudományssomj kiszélesedése és egyre bővülő tömegek azon óhajának fellépése, hogy ők is részesüljenek a tudományos, elméleti és intellektuális értékekből. Ez a szociális tényező teremti meg annak a feltételeit, hogy a múlthoz képest összehasonlíthatatlanul megnőjön a fizikus-kutatók száma, új világhírnévre szert tevő iskolák és összefüggő, jól szervezett kutatócsoportok alakuljanak ki. A fizikai kutatások egyetemessége és nemzetközi jellege valósággá és ugyanakkor óriási ösztönző erővé válik sajátosan a tudomány és általában a társadalom fejlődése számára.

De e külső feltételek mellett a két világháború közti fizika fejlődése döntő módon mégis egyes belső tényezőknek köszönhető. S itt mindenekelőtt arra a riasztó helyzetre kell gondolnunk, amely belső ellentmondásai révén a klasszikus fizikát már korábban fenyegette, és mint láttuk, megoldását a relativitás elmélete és a kvantumelmélet tette lehetővé. A két elmélet megjelenése döntő impulzust ad a kutatásoknak. És mindez éppen az első világháború befejezésének idején.

Az új eszméket kísérletileg is ellenőrizni kell, majd kiterjeszteni új tartományokra, és az egészet egy magasabb szintű átfogó rendszerbe kell foglalni A

fizika kettéhasadása és a fizikusok (már korábban elkezdődött) kísérletekre és elméletiekre való szakadása óriási méreteket ölt, és egyre hangsúlyozottabbá válik. A feltételek adottak, és a szükségletek megkívánják az ilyenszerű specializációt. Hatalmas laboratóriumok alakulnak, és új — főleg elméleti — iskolák. Az elméletiek előbb a relativitás körül csoportosulnak, és céljuk az egységelméletek megalkotása és kiterjesztése. Nemsokára azonban új iskola alakul, mely Planck eszméi körül csoportosul, és a későbbiek során rendkívül megerősödik, kiterjeszti tevékenységi körét a fizika szinte minden ágára. E mozgalom mentorai Einstein és Niels Bohr, de ez utóbbi szerepét (aki elsősorban kísérletező) az elméleti csoport vezetésében rövidesen tanítványai veszik át: Max Born, Ervin Schrödinger, P.A.M. Dirac és elsősorban Werner Heisenberg. Ez a csoport, mely a koppenhágai iskola nevet viseli, és előbb több tíz, majd több száz elméleti kutatót számlál, néhány év alatt (1925—1931) olyan csúcokra emeli a kvantumelméletet, amelyről pár évvel azelőtt még almodni sem mertek, és lezár egy — ma a „Klasszikus kvantumelmélet” néven ismert — teljes periódust.

Ezen elmélet fejlődését teljes egészében belső tényezők — éspedig a szükséges koherencia, pontos és körülhatárolt tárgykör, ellentmondásmentes törvényszerűségeken alapuló és algoritmizálható modellre épülő axiomatikus rendszer — határozzák meg.

A kísérletezők abbéli igyekezetükben, hogy ellenőrizzék az új eszméket és kiterjesszék őket új tartományokra, egyre újabb és újabb, addig ismeretlen jelenségeket és folyamatokat tárnak fel, amelyek új magyarázatot igényelnek. A sugárzási kvantumok behatolnak az atomba, molekulába, szilárd testbe, a fizika új ágait szülvé, mint amilyen az elektronika, atom- és magfizika, a szilárd testek fizikája és a kvantumkémia.

A fizika kettéhasadása és a fizikusok csoportokra oszlása azonban nem abszolút jelenség. Egy igen erős fizikus-csoport s elsősorban a szovjet fizikusok megtartják közbenső helyzetüket, amely tény a későbbiek során, mivel szerepük meghatározóvá válik, döntő jelentőségűnek bizonyul. Frédéric Joliot-Curie, Enrico Fermi, Pjotr Kapica, Louis de Broglie és sokan mások tovább folytatják kutatásaikat az összetetten formált fizikus (kísérletező és elméleti egy személyben) klasszikus értelmezésében, felhasználva mindazt, amit az elmélet, valamint a modern kísérleti eszközök nyújthattak.

A relativista csoport végül is nem tudja célját: azaz Einstein elméletén alapuló és a világ egészét átfogó, a gravitáció és elektromágneses mezőt egyesítő egységelmélet felállítását megvalósítani. Évtizedekre nyúló erőfeszítéseiket nem koronázza siker, és Einstein meghal anélkül, hogy álma valóra válna.

A stafétát azonban átveszik mások, elsősorban Heisenberg, aki Dirac egy 1931. évi gondolatára támaszkodva még ma is úgy véli, hogy Einstein elképzelése egészében megvalósítható.

1931 után — amikor lezárul a kvantumok emelkedésének „klasszikus” korszaka — Dirac, Einstein relativista eszméire támaszkodva, sikeres kísérletet tesz a diszkontinuum-felfogás érvényességi szférájának kiterjesztésére. A kísérletek őt igazolják, Anderson megtalálja az első anti-részecskét és elindul hódító útjára az „elemi részecskék” fizikája.

Az elemezett periódusban zajló robbanás eléri csúcspontját.

A világ politikai térképén ekkor felbukkan a fasizmus réme, de mégsem képes megfékezni a hatalmas lendületet. A fizikusok egy része az Egyesült Államokba és Angliába emigrál, másik részük az új körülmények között is folytatja kutatásait.

Az Egyesült Államokban ekkor alakuló rendkívül erős fizikus kutatócsoportok fellépése rányomja bélyegét történelmünk további sorsára. A második világháború küszöbén vagyunk, és a fizika fejlődését pár évtizedre meghatározó külső és belső tényezők egyensúlya felbomlik. S míg a vázolt viszony a két tényező között — a két világháború közötti periódusban — oly csodálatos fejlődést és a fizika viszonylagos függetlenségét eredményezte, addig e viszony felbomlása azzal a pillanatnyi veszéllyel fenyegetett, hogy ez utóbbi is, legalábbis rövid időre, eltűnik.

E fizika felborulásának és a fizika relativ függetlenségének oka pedig: a háború.

A második világháború idején a célok világosak, egyértelműek és ugyanakkor sajátosak voltak; megvalósításuk egyre hangsúlyozottabb ütemet és operativitást igényelt. Sir Charles Percy Snow, a neves angol közíró, fizikus és szociológus írja: „A célok általában akkor világosak, ha az emberek halálát kell előidézni — mint a háborúban —, vagy meg kell gátolni azt, mint a gyógyászatban. Sajnos, az életben a feladatok legnagyobbbrészt más természetűek“ (Science and Government. London, 1961).

Így állnak a dolgok a fizikában is.

A második világháború kitörése addig alig észlelt rohamos fejlődésben találta a fizikát, különösen ami céljait, szerteágazó specializálódását és az előzőekben elemzett belső törvényszerűségeiből fakadó elméleti és kísérleti kutatások sokoldalúságát illeti. Ugyanakkor azonban egyre érezhetőbbé válik a fasizmus megjelenése okozta egyensúlyvesztés is.

A még 1891-ben Henry Becquerel felfedezte és később Pierre Curie, Maria Sklodovska és mások munkái révén tovább fejlesztett természetes radioaktivitás hamarosan elvezet az atomátalakítás és a mesterséges radioaktivitás felfedezéséhez (Frédéric Joliot és Irène Curie). Egy eredetileg Einsteinól származó — az energiát a tömegtől függővé tevő — zseniális ötletre támaszkodva, ennek az irányzatnak a kvantumelmélettel való összefonódása eredményezi a fizikában azt, a társadalmat és történelmet mind a mai napig leginkább megrendítő felfedezést, melyet maghasadásnak neveznek.

Miközben az elméleti fizikusok álmodtak szönek a Nagy Elméletről — mely a relativitást és kvantum-teóriát hivatott egységes anyagelméletté kovácsolni —, a kísérletiek, de főleg a már említett klasszikusan képzett „komplett“ csoport „különös“ dolgokkal foglalkozik. A radioaktivitás és elektronika a különböző sugarakkal bombázott atommagok „különös“ viselkedése és a hozzákapcsolt elméleti kutatások lassan-lassan kibontják azt a perspektívát, mely az atommagban rejlő felmérhetetlen energiák kiszabadítását csillantja meg a hozzáértők előtt.

1932-ben Edwin Chadwick felfedezi a neutront. Otto Hahn és Friedrich Strassmann hamarosan bebizonyítja a nehéz magok hasadásának lehetőségét, ahonnan 1939-ben Enrico Fermi és Frédéric Joliot Curie levezeti a láncreakció mechanizmusát. A magenergiának nevezett új energiaforrás a fizikusok kezébe került.

De megindul a háború, és a Manhattan-terv keretében — távol a kezdeti békés céloktól — 1942-ben Chicagóban Enrico Fermi begyűjtja az első atommaglyát (reaktor), melynek következményeként Oppenheimer csoportja megépíti az Egyesült Államok „A“-bombáját. Velük párhuzamosan a Szovjetunióban Igor Kurcsatov csoportja kikísérletezi és elkészíti előbb az A, majd a H-bombát. A háborúnak nevezett társadalmi rendelés kimondotta az utolsó szót. A fizika belső szükségszerűségei

diktálta — kezdetben békés célokat követő — alap kutatásokból hirtelen egy (és nem is csak egy) pusztulást szolgáló alkalmazott áramlat lép a porondra.

Allításunk talán túlzónak tűnik, hiszen a pusztításnak egyszer csak vége szakadt, és az eredményeket értékesítette a békés építés. A háború alig fejeződik be, és a Szovjetunióban üzembe helyezik az első békés célokat szolgáló, áramot adó atomreaktort. A radar és még számos más felfedezés, mely a háborús követelmények közvetlen „társadalmi rendelésének“ eredményei voltak, szinte azonnal átterelődnek a békés építés szolgálatába. És azoknak az alap kutatásoknak zömét, melyeket a világégés okozta közvetlen alkalmazott katonai igények pillanatára hátterbe szorítottak, a fizikusok még nagyobb erőbedobással folytatják, mint annakelőtte. A feltételek igen kedvezőek, a külső tényezők, mint például a pusztításokat szenvedett Európa újjáépítése és az Egyesült Államok gazdasági boomja, megkönnyíti a munka újrafelvételét; a belső tényezők pedig még élénkebben hatnak, mint a két világháború között.

Valami mégis alapjában változott.

A régi fizikai iskolák és kutatócsoportok szétestek, és mások alakultak helyettük, a hidegháború következtében a nemzetközi tudományos kooperáció gyakorlatilag megszűnt, és a tudományos kutatómunka nagyban polarizálódott. Egy új generáció nőtt fel a Szovjetunióban és az Egyesült Államokban. s ők új aspirációkkal és új lehetőségekkel telített új vonzású központokat alakítanak.

A barna pestis által szétvert közép- és nyugat-európai fizika alig ocsúdik a szörnyű csapás után, amikor művelőit a másoktól átvett ultramodern technológia alapján megindult ipari újjáépítés szólítja a porondra.

De nemcsak erről van szó.

Megváltoztak a fizikáról alkotott fogalmak, és magában a fizikában is új erjedés indult.

Alapjában véve elég régi, de most új erővel felszínre szökő gondolat az, hogy a fejlődés egyik s talán leglényegesebb tényezője az ember; kulturális, szakmai színvonala, iskolázottsági foka, egészségi és anyagi helyzete, találékonysága és odaadása — egyszóval viszonya ahhoz a társadalomhoz, amelyben él — sokat nyom a latban.

A háború alatt és közvetlenül utána elsősorban az Egyesült Államokban és a nagyobb nyugati kapitalista országokban az a meggyőződés alakult ki és szerzett magának igen sok hívet, hogy a kutatás és fejlesztés sikeréhez nem kell egyéb, mint sok pénz és a megoldandó problémákhoz értő megfelelő számú felkészült szakember. Úgy tűnt, hogy a tudomány a társadalmi rendeltől hajtva automatikusan fejlődik, mihelyst megteremtették számára a kellő feltételeket.

Rövidesen rájöttek azonban, hogy az ipari fejlesztés és kutatás nem érhet el önműködően — csak úgy „magától“ — kielégítő eredményeket, és világossá vált, hogy ama tényezők többsége, melyek a háború alatt biztosították a sikert, békeidőben nem működnek.

Ezzel szemben egy új tényező került előtérbe: a nagyhatalmak közötti verseny és a hamarosan bekövetkezett erőegyensúly. E harmadik tényező fellépése mind érezhetőbbé válik a tudományban, és világméretű változást hoz: lassan-lassan megváltozik a viszony társadalom és tudomány között.

A helyzet a fizika területén változik talán a leggyorsabban.

Kezdetben — a háború után kialakult status quo közvetlen következményeként — új fejlesztési és kutatási versengés indul, mely maga után vonja a munkában és eredményeiben fellépő párhuzamosságot. Egymás után fedezik fel Keleten és Nyugaton egyaránt a magreaktorok működési elveit, a hidrogénbombában fellépő

fúzió és a mágneses csapdába zárt plazma-fejlesztés technológiáját, az elektronikus számítógépek működési elvét és technológiáját, a stabil és radioaktív izotópok különböző békés és hadi alkalmazásait, a lézer-mézer kvantumgenerátorok elvét, a kozmikus kutatáshoz szükséges technológiát (rakéták, műholdak és a hozzájuk tartozó segédberendezések), hogy csak a legismertebbeket említsük.

Bizonyos fizikai vagy általában tudományos felfedezések szimultán megjelenése nem új dolog. A múltban is találkozhattunk ilyesmivel, és valószínűleg a jövő is fog erre példákat szolgáltatni. Ez különben biztos jelzése annak, hogy a szóban forgó probléma már megérett, és a szükségletek kényszerítik a megoldást. Ilyen eseteket mi is említettünk, például a relativitás alapelvei (Einstein—Poincaré—Eddington) vagy a kvantumegyenletek felfedezésénél (Schrödinger—Heisenberg—Dirac) és napjainkban a kvantum elektrodinamika (Feynman—Schwinger—Tomonaga) és a fizika és technológia történetének még sok más területén is.

De az említett esetek (mind azok, amelyekről részletesen szóltunk, mind a többiek) a tudomány „természetes“ fejlődésének termékei, melyek vagy csupán a belső „klasszikus“ vagy pedig a belső és külső tényezők együttes hatása alatt születtek. Napjaink bizonyos lényeges felfedezéseinek sorozatszerű „futószalagon“ történő szimultán megjelenése — egyik Keleten, másik ugyanakkor Nyugaton vagy fordítva — azonban már nem „természetes“ jelenség, hanem az erőegyensúly új tényezője révén kierőszoalt kutatási párhuzamosság következménye.

A háború utáni fizika történetének másik jellegzetes vonása az eddigi „kis“ tudomány — a little science mellett úgynevezett „nagy“ tudomány, a big science megjelenése. A fizika szinte minden problémájának széles fronton történő egyidejű megközelítése, azon az alapon, hogy „seose lehessen tudni, honnan fog valami hasznos kisülni“ uralkodik ma mind a kapitalista, mind a szocialista országok kutatásában. De minthogy a bedobható erők korlátozottak, a hangsúlyt mindkét részről azokra a kutatási irányokra helyezik, amelyekből az erőegyensúly további fenntartását remélik.

A fizika fejlődésének ez új tényezője feltételezi tehát a „big science“ megjelenését, azaz olyan kutatási ágak kifejlesztését, amelyeket a maximális ellátottság, a rendkívüli költségek, gigantikus laboratóriumok és az ipari méreteket öltő kutatómunka jellemez. Az „iparosított tudomány“ e fellegváraiban bizonyos témákat egyidejűleg tanulmányoznak minden lehetséges oldalról mind elméleti, mind kísérleti fronton, a rendelkezésre álló összes elképzelhető eszközök és módszerek segítségével, hogy minimális idő alatt maximális eredményeket érjenek el. Ilyen kutatások folynak ma a plazma-fizika (a H-bomba megszelídítése), az MHD (magnetohidrodinamikus) erőátvitel, az elemirészecske-kutatás, a magreakció, szerkezeti vizsgálatok, anihilációs effektusok területén, az elektronikus számítógépek fejlesztése és az űrkutatás legszélesebb skáláin.

A „big science“ egyik következménye — mint az erőegyensúly tényezője kiváltotta fejlődés egyik új jellegzetessége — a „Fall-Out“ — azaz egyes tudományos eredmények „kicsapódása“ (Karl R. van Tassel: *Managing Research and Development*. New York, 1965). Ezen, az atomrobbantás utáni radioaktív eső analógiájára, a tudományos melléktermékek kicsapódását, azaz a „big science“ elsősorban katonai célokat szolgáló lényeges kutatásaiból megmaradó békés eredményeket értik. Nagyon plasztikusan e folyamatot még „spin-of“-nak is nevezik, azaz melléktermékek „lecsavarodásának“ a fő kutatási vonalról.

A „Fall-Out“ egyik beszédes példája a lézer. A radartechnika területén meginduló — eredetileg zajmentes erősítés célját szolgáló — kutatások mellékterméke ez, mint a mézer továbbfejlesztése. A be nem vallott cél egy, a sugárzáson ala-

puló rakétaelhárító kvantumfegyver kifejlesztése. Az így nyert lézer — melyet párhuzamosan szinte egyszerre fedeztek fel Keleten és Nyugaton (Basov—Prohorov—Townes) jelenlegi formájában alkalmatlan a be nem vallott cél számára, és melléktermékként csapódik ki a tudományban, ami ugyanakkor természetesen nem jelenti azt, hogy ne lenne egyike a jövő legszebb békés perspektívákat ígérő eredményének.

\*

A fizikai és technikai felfedezések egész arzenálját sorolhatnánk fel, mint a központi kutatások „spin-of“ eredményét, de mindez fölösleges ahhoz, hogy levonhassuk a következtetést: ez a folyamat az erőegyensúly tényezőjének egyik következménye.

A kutatások párhuzamossága, a „nagy tudomány“ megjelenése, egyes „melléktermékek“ kicsapódása mind ugyanannak a tényezőnek, az erőegyensúly tényezőjének következménye, tényező, mely a második világháború után a tudományfejlődést meghatározó „klasszikus“ belső és külső tényezőktől függetlenül jelenik meg.

Szerepe óriási. Bizonyos külső és belső feltételekkel kombinálódva a tudomány és politika mind szorosabb összefonódásához vezet, mely folyamat egy nem túlságosan távoli jövőben felborulással fenyegeti a tudomány és társadalom klasszikus viszonyát.

Elgondolásaink az alábbi következményekre vonatkoznak.

Mindenekelőtt lássuk azokat, amelyek a külső tényezők működéséből származnak.

A tudomány tervezése a szocialista termelőmóddal egyetemben jelenik meg, és ennek természetes következménye. De csupán a második világháború után, amidőn a kapitalista országokban rájönnek a már említett gondolatra: hogy a célok csakis akkor világosak, ha az emberek elpusztítását kell előidézni, avagy azt meggátolni, és hogy a tudomány csak akkor fejlődik automatikusan a kívánt irányokban, ha céljai világosak, csak így válik a tervszerűsítés egyetemes szükségletté a fizikán belül is.

De a tervszerűsítés módozatait illetően még ma is eltérők a vélemények. Miután az utóbbi időben egyre világosabban körvonalazódik a fizikai kutatások hármas jellege: alap-, alkalmazott és fejlesztési kutatások, a tervszerűsítés jellege is egyre jobban körvonalazódik, mégpedig jobbról balra, azaz az említett kutatások sorrendjével fordítottan arányosan csökkenő tendenciaként. Ily módon ma már világos, hogy az ipari termeléssel kapcsolatos, a technológiai eljárásokat szolgáló üzemi laboratóriumi kutatásokat lehet és kell is szigorúan tervszerűsíteni.

Az akadémiai vagy departamentális laboratóriumokban folyó olyan alkalmazott kutatásokat, melyek bizonyos alapvető fizikai törvényszerűségeknek a gyakorlat számára elérhető formába való öntését célozzák azaz „in vitro“ készítik elő az egyes felfedezéseket a későbbi ipari alkalmazások számára —, már nem tervszerűsíthetők olyan mereven, mert egy sor olyan belső tényezőtől függenek, melyek a maguk részéről a priori előre nem látható módon hatnak.

Az alapkutatások pedig — melyek majdnem teljes egészükben belső tényezők függvényei — csak annyiban tervszerűsíthetők, amennyiben céljuk nagyjából előre látható, és még ez is csupán belülről, magukból a kutatások során előálló perspektívák szemszögéből tekinthető, és semmiképp sem kívülről és ráerőszakoltan. Ez a kérdés egy másik ugyancsak a második világháború után fellépő és a külső tényezők működése következtében előállott következtetéssel van szoros összefüggésben.

A kutatások súlypontjának folyamatos és progresszív vándorlásáról van szó az egyetemek és akadémiai laboratóriumokból az üzemi laboratóriumok felé. Folyó a vezetéstudományok egyik klasszikusa — vagy ami ma ezzel teljesen egyenértékű

— a tudományszervezés egyik szakértője még a XX. század elején kijelentette: „A tudománynak alá kell szállnia az üzemekbe.“ E kijelentés ma széles visszhangra talált azok körében, akik érdekeltek a fizika fejlődésében. Egyrészt bebizonyosodott, hogy a világcipiacokon folyó konkurrencia-harc következtében valamely ipari egység fejlődésének — ha nem egyenesen létezésének — sine qua non feltétele az állandó tudományos kutató tevékenység. Ily módon gyakorlatilag minden ipari egységnek — de legalábbis a nagyobb központoknak — állandóan foglalkozniuk kell a kutatással és fejlesztéssel.

Másrészt a kutatók is arra a meggyőződésre jutottak, hogy maga a termelés gyakorlata veti fel a legérdekesebb tudományos problémákat, és az e kutatásokhoz szükséges beruházásokat sem az állam, sem az egyetemek, hanem csakis az ipar képes egyedül szolgáltatni és fedezni. Így kap egyre nagyobb teret a „piszkos kezű tudós“-nak, vagyis annak a tudományos kutatónak a típusa, aki nem átal „alászállni“ a termelésbe.

A külső tényezők működésének harmadik és lényeges következménye, mely különösen az utóbbi években hangsúlyozódik: a kultúra megosztásának tendenciája. Bár e tendencia rendkívül veszélyes, mégis egy sor tényező hatására a kultúra humán és reál irányzatokra való szakadása egyre erősödik. Az ebben az irányban működő tényezők közül csak néhányat említünk: az információrobbanást, melyet generációknál át — azaz annak kvázi-lehetetlenségét, hogy megemésszük az emberiségre zúduló információmennyiséget, és az emberiségnek azt a természetes tendenciáját, hogy a külső világhoz egyidejűleg két: a racionális és az érzelmi-emotív sikon közeledjék. E tendenciát több okból is veszélyesnek tartjuk, itt csak ezek egyikét emeljük ki. azt a szakadékot, mely egyfelől a tudomány emberei és a széles dolgozók tömegei között, másfelől a fizikusok, vegyészek, biológusok, matematikusok és az értelmiség többi része között mélyül.

Még harminc évvel ezelőtt is természetesnek tűnt, hogy valamely fizikai felfedezésről azzal a magától értetődő igénnyel érdeklődjenek és beszéljenek a legszélesebb körökben is, hogy legalább a dolgok lényegét értik; ma már senki sem csodálkozik azon, hogy két fizikus sem érti meg egymást. A humán érdeklődésük teljesen meddően keresik a módját, hogy behatoljanak a modern fizika vagy biológia „rejtelseibe“, és korunk fizikusa, legjobb szándéka ellenére sem képes közelebről követni a kultúra humán értékeinek gyarapodását.

A fejlődést meghatározó külső tényezők hatásának e szomorú és veszélyes vonatkozásait valamennyire kompenzálják a belső tényezők kiváltotta egyes következmények. E belső tényezők szerepe pedig — szerencsére — napjainkban növekvőben van.

E sokoldalú következmények közül csak kettőt említünk.

Az első az a párhuzamos tendencia, amely mind magán a fizikán, mind az összes úgynevezett egzakt természettudományokon mint egészen belül megnyilvánul: egyrészt egy rendkívül szűk specializálódás, egyre keskenyebb sávokra való szakadás és osztódás, másrészt a határ- és hibrid tudományok megjelenése, azaz az ultraspecializált irányzatoknak egy magasabb szinten történő találkozása és a közös felületek kiaknázása. A belső tényezők eme következménye rendkívül lényeges, mert megteremti ama híd felállításának kezdeti feltételeit, amely a kultúra két oldala közötti szakadékot hivatott átívelni. A határtudományok gyors és erőteljes megjelenése éles fényt vet erre a pozitív tendenciára, és arra biztat, hogy valahol, egy magasabb szinten a tudomány meg fogja találni azt a gondolati szintézist, amely a különböző irányzatokat és szempontokat, az anyagi világ törvény-

szerűségei kutatásának különböző aspektusait összeköti, amit mindannyian óhajtunk.

A második következmény, amely a belső fejlődés során egyre nagyobb jelentőségre tesz szert, s ugyanakkor megkönnyíti a jelzett szintézis bekövetkezését: a tudományok matematizálása.

A matematika behatolása a tudományok egyre szélesedő és terebélyesedő ágazataiba — a reál és humán tudományok területére egyaránt — és a gondolkodás egyre magasabb szintekre való emelése új polivalens logikák révén, döntő tendencia a tudományok belső fejlődésében. Ez az irányvétel lehetővé teszi a tudományos gondolkodás eddig csak a fizikában vagy a matematikában használt egyes elemeinek behatolását a többi tudományba és általuk az egész emberi gondolkodás egészébe. E tény közvetlenül hat a tudomány és társadalom viszonyára.

A tudományoknak közvetlen termelőerővé válása nem csupán — és főleg nem elsősorban — valamely új tudományos technológia vagy a tudomány és termelés összefonódása révén nyert gazdasági javak előállítását jelenti (a szó vulgáris értelmében), hanem mindenekelőtt új eszmék fellépését, melyek mélységesen befolyásolják az emberi alkotást, gondolkodást és ideológiát — egyszerűen a társadalom haladását. E folyamat révén, mely a külső és belső tényezőknek az erőegyensúly tényezőjével való összefonódása következtében lép föl, a tudomány döntő szerepet kezd játszani a társadalom történetében. A tudományos forradalom, melynek mindannyian tanúi vagyunk, bizonyára lényeges következményekkel fog járni az egész emberi társadalomra nézve. A fizika — s általában a tudományok — fejlődésének fő vonala a jövőben egyre kevésbé különül el az emberiség politikai fejlődésétől, a tudományok viszonylagos függetlensége eltűnik, és ennek következtében felborul a tudomány és társadalom jelenlegi viszonya. A tudományok fejlődését mozgóató társadalmi rendelés helyét átveszi a társadalom fejlődését is mozgóató tudományos rendelés.

Konklúzióként hadd ismételjük el reflexióink lényeges pontjait, melyeknek célja a fizika fejlődésére vonatkozó néhány gondolat vázlatos rendszerezése.

Nézetünk szerint a fizika fejlődését kezdeti szakaszában két tényező határozta meg: külső és belső faktor.

Társadalmi összefüggésekből született tudományként fejlődik (az említett két tényezőtől hajtva előre), miközben a többi társadalmi tevékenységgel szemben relatív függetlenségre tesz szert.

A fejlődés eme vonatkozása a külső és belső tényezők egyensúlyfelbomlásának terméke, és azzal a következménnyel jár, hogy a fizika két ágra (kísérleti és elméletire) szakad.

A fejlődés ez általános vonalát megzavarja a második világháború után fellépő harmadik tényező: a nagyhatalmak közötti erőegyensúly, melynek következményeként a külső és belső tényezők egyensúlyát helyreállító tendencia lép föl.

Mindez elvezet a tudományos forradalomhoz, melynek során a tudomány közvetlen termelőerővé válik, elveszti viszonylagos függetlenségét, s ennek során megváltozik a klasszikus viszony tudomány és társadalom között. Az új formula: a tudományos rendelésen át a társadalom fejlődése felé.

Úgy véljük, természetesen, hogy reflexióink csak viszonylagos igazságok, sőt meg is támadhatók, de meggyőződésünk ugyanakkor, hogy a mellettük felhozható érvek száma és súlya legalább olyan nagy, mint az ellenük felhozhatóké.

Alapjában véve Darwin egyik közeli munkatársával, Thomas Huxley-val egyetemben úgy véljük, hogy „minden új elmélet rendszerint eretnekségként indul, és a társadalom fejlődését gátló megcsontosodott előítéletként végzi“.