
Forrai Gábor - Szegedi Péter (szerk.), *Tudományfilozófia: Szöveggyűjtemény*. Budapest: Áron Kiadó, 1999.

A FALSZIFIKÁCIÓ ÉS A TUDOMÁNYOS KUTATÁSI

PROGRAMOK METODOLÓGIÁJA*

LAKATOS IMRE

Eddig azt a problémát tárgyaltam, amelyet a tudományos ismeretek növekedésének objektív értékelése jelent, mégpedig az egymást követő tudományos elméletek progresszív illetve degenerálódó probléma-eltolódásai alapján. [*Progresszív probléma-eltolódás: az új elmélet sikeres új előrejelzést tesz. Degenerálódó probléma-eltolódás: az új elmélet nem tesz sikeres új előrejelzést. Ha az új elmélet tesz előrejelzést, de az nem sikeres, akkor a probléma-eltolódás elméletileg progresszív, de empirikusan nem az – a szerk.*] A tudás növekedésében azok az elméletssorozatokat a legfontosabbak, melyek tagjaira egyfajta folytonosság jellemző. Ez a folytonosság egy pontos, előre megtervezett kutatási programból bontakozik ki. A program módszertani szabályokból áll: ezek egy része azt szabja meg, hogy mit ne tegyünk kutatásunk során (*negatív heurisztika*), mások pedig azt, hogy milyen irányban haladjunk (*pozitív heurisztika*).⁽¹⁾

Tulajdonképpen a tudomány egészét is tekinthetjük egy óriási kutatási programnak, amelyet Popper legfőbb heurisztikus szabálya irányít, miszerint: "dolgozz ki olyan feltevéseket, melyek empirikus tartalma nagyobb elődeikénél". Az ilyen módszertani szabályok, mint Popper rámutatott, metafizikai szabályokként is megfogalmazhatók.⁽²⁾ Például a kivétel-kizárás [azon eljárás, hogy a kivételeket felsoroljuk, de kizárjuk az elmélet alkalmazási köréből – a szerk.] elleni *univerzális* anti-konvencionista szabály metafizikai elvként is állítható, a következőképpen: "a természet nem tűri a kivételeket". Watkins emiatt nevezte az ilyen szabályokat "befolyásos metafizikának".⁽³⁾

Én azonban nem a tudomány egészére gondolok elsősorban, hanem inkább *egyedi* kutatási programokra, amilyen például az úgynevezett "kartézianus metafizika". A kartézianus metafizika, azaz a világegyetem mechanisztikus elmélete – amely szerint az univerzum egy hatalmas óramű (valamint örvények rendszere), amelyben egyedül a lökés okoz mozgást – hatékony heurisztikus elvként szolgált. Egyfelől hátráltatta az olyan, neki ellentmondó tudományos elméletek kidolgozását, mint például Newton távolbahatás elméletének "esszencialista" változata (*negatív heurisztika*); másfelől elősegítette azoknak a segédhipotéziseknek a kidolgozását, amelyek semlegesítik az olyan bizonyítékokat, amelyek látszólag az elmélet ellen szólnak – pl. a kepleri ellipszisek (*pozitív heurisztika*).⁽⁴⁾

(a) Negatív heurisztika: a program "kemény magja"

Minden tudományos kutatási program jellemezhető annak "kemény mag"-jával. A program negatív heurisztikája megtiltja, hogy a *modus tollens* a "kemény mag" ellen irányítsuk. Ehelyett arra kell használnunk képzelőerőnket, hogy részletesebben kidolgozzuk a segédhipotéziseket, vagy hogy teljesen újakat találjunk ki, amelyek mintegy védőövet képeznek a mag körül; a *modus tollens* élet pedig irányítsuk át *ezekre*. A próbák jórészt a segédhipotézisekből álló védőövet ellenőrzik, amelyet újra és újra ki kell igazítani, vagy akár teljesen ki kell cserélni, hogy megvédjük az így megkeményített magot. Egy kutatási program akkor sikeres, ha ezek a folyamatok progresszív, és akkor sikertelen, ha degenerálódó probléma-eltolódáshoz vezetnek.

A sikeres kutatási programok klasszikus példája Newton gravitációs elmélete, amely feltehetőleg minden idők legsikeresebb kutatási programja volt. Első megjelenésekor "anomáliák" (vagy "ellenpéldák"⁽⁵⁾, ha így jobban tetszik) tengere vette körül, s ellentmondásban volt az ezeket alátámasztó megfigyelési elméletekkel. Newton követői azonban zseniális kitartással és leleményességgel egymás után minden ellentmondó bizonyítékot korroboráló esetté változtattak át, alapvetően azoknak a megfigyelési elméleteknek a megdöntésével, amelyekre az "ellentmondó bizonyítékok" alapozódtak. A folyamat során maguk is akadtak ellenpéldákra, amelyeket azután szintén megoldottak. "Minden új nehézséget programjuk újabb győzelmévé változtattak."⁽⁶⁾

Newton programjában a negatív heurisztika azt írja elő, hogy a *modus tollens* ne irányítsuk Newton három dinamikai törvényére illetve a gravitációs törvényre. Ez a "mag" a program hirdetőinek módszertani döntése alapján "cáfolhatatlan": az anomáliák csupán a kiegészítő, "megfigyelési" hipotézisek védőövében, illetve a kezdeti feltételekben okozhatnak változásokat.⁽⁷⁾

A newtoni progresszív probléma-eltolódást egy fiktív minipéldával illusztráltam.⁽⁸⁾ A részletes elemzésből kiderül, hogy az egymást követő szakaszok mind- egyike új tényeket jósol meg, hogy minden lépés az empirikus tartalom növekedésével jár, azaz hogy *következtesen progresszív probléma-eltolódással* van dol-gunk. Végül pedig minden predikciót sikerült igazolni, noha egymás után három alkalommal is úgy tűnhetett, hogy "megcáfolták"⁽⁹⁾ őket. Az (itt leírt értelemben vett) "elméleti haladást" esetleg azonnal igazolni lehet,⁽¹⁰⁾ az "empirikus haladást" azonban nem, és "cáfolatok" hosszú sora hátráltathatja kutatási programunkat, amíg egyszer csak új és tartalomnövelő segédhipotézisek a vereségek sorozatát – *utólag* – kirobbanó sikertörténété változtatják, a téves "tények" felülbírálata révén. Ezek után azt mondhatjuk, hogy a kutatási program minden lépésétől meg kell követelnünk, hogy következetesen tartalomnövelő legyen, hogy minden egyes lépés *következtesen progresszív probléma-eltolódást* idézzon elő. Ehhez mind-össze annyit kell még hozzátennünk, hogy a tartalomnövekedésnek időnként – retrospektíve – korroborálnak kell tennie. A programnak egészében *időszakonként progresszív empirikus fejlődést* kell mutatnia. Nem kívánjuk meg, hogy minden lépés *azonnal* valamilyen *megfigyelt* új tényhez vezessen. A "időszakonként" kifejezés elégséges *racióális* felhatalmazást ad arra, hogy egy programhoz dogmatikusan ragaszkodjunk az első látásra elfogadható "cáfolatokkal" szemben is.

A tudományos kutatási programok "negatív heurisztikájának" elképzelése jelentős mértékben ésszerűvé teszi a klasszikus konvencionizmust. Racionálisan úgy dönthetünk, hogy a "cáfolatok" mindaddig nem érik el a kemény magot, amíg a segédhipotézisekből álló védőöv korroborált empirikus tartalma növekszik. Saját megközelítésünk azonban különbözik Poincaré jusztifikacionista konvencionizmusától abban az értelemben, hogy Poincaréval ellentétben mi úgy tartjuk, hogy ha és amikor egy program többé nem jelez előre új tényeket, akkor kemény magját el lehet vetni: azaz, a *mi* kemény magunk, ellentétben Poincaré-éval, bizonyos körülmények között összeomolhat. E tekintetben Duhem oldalán állunk, aki úgy vélte, hogy ezt a lehetőséget meg kell engedni.⁽¹¹⁾ Duhem számára azonban az ilyen összeomlásnak pusztán *esztétikai*⁽¹²⁾ okai vannak, szerintünk viszont főleg *logikaiak és empirikusak*.

(b) Pozitív heurisztika: a "védőöv" kiépítése és az elméleti tudományok relatív autonómiája

A kutatási programok, negatív heurisztikájukon kívül pozitív heurisztikájukkal is jellemezhetők.

Még a leggyorsabban és legkövetkezetesebben fejlődő kutatási programok is csak fokozatosan tudják leküzdeni az ellenük szóló "bizonyítékokat": az anomáliákat soha nem sikerül teljesen megszüntetni. Azonban ne gondoljuk úgy, hogy a megmagyarázatlan anomáliákat – a "rejtvényeket", ahogy Kuhn nevezné őket – tetszőleges sorrendben számolják fel, és hogy a védőöv eklektikus, minden előre megtervezett rend nélkül épül. Ez a rend általában az elméletalkotó dolgozószobájában dől el, függetlenül az *ismert* anomáliáktól. A kutatási programokban résztvevő tudósok nem szentelnek túl sok figyelmet a "cáfolatoknak". Hosszú távú kutatási tervvel rendelkeznek, amely anticipálja ezeket a cáfolatokat. Ezt a kutatási tervet, vagy a kutatások menetét a program *pozitív heurisztikája* határozza meg, több-kevesebb részletességgel. A negatív heurisztika a programok "kemény magját" határolja be, amely a résztvevők döntése nyomán "megcáfolhatatlan"; a pozitív heurisztika csak részben kidolgozott utasítások vagy tippek csoportjából áll, amelyek arra vonatkoznak, hogy miként kell változtatni, vagy javítani a kutatási program "cáfolható változatain", és hogyan kell módosítani, bonyolítani a "cáfolható" védőövet.

A programok pozitív heurisztikája megóvja a kutatókat attól, hogy összezavarodjanak a tengernyi anomália láttán. Kijelöl egy programot, mely a valóságot szimuláló, egyre bonyolultabb *modellek* sorozatát tartalmazza: a tudósok modelljeik építésére összpontosítják figyelmüket, összhangban a program pozitív részében lefektetett utasításokkal. Az *aktuális* ellenpéldáktól, a hozzáférhető "adatoktól"⁽¹³⁾ eltekintenek. Newton első programjában, mely a bolygórendszer leírására irányult, egy rögzített, pontszerű Nap és egy pontszerű bolygó szerepelt. Ebben a modellben vezette le fordított arányossági törvényét a Kepler-féle ellipsziszekre. Ez a modell azonban ellentmondott saját harmadik dinamikai törvényének, ezért fel kellett cserélni egy olyan modellel, amelyben a Nap és a bolygó közös gravitációs központjuk körül keringenek. Ezt a változtatást nem megfigyelések ösztönözték (az adatok nem utaltak semmiféle "anomáliára"), hanem a program kidolgozásának elméleti nehézsége. Ezután továbbfejlesztette a programot több bolygóra, oly módon mintha csupán a heliocentrikus erők hatnának, bolygók közötti erők nem. Majd kidolgozta azt a változatot, amelyben a Napot és bolygókat nem tömegpontnak, hanem tömeggömbölynek tekintjük. Ehhez a változtatáshoz szintén nem volt *szükség* semmilyen anomália megfigyelésére; a végtelen sűrűség létezését egy – részletesebben nem kidolgozott – "próbakő" elmélet kizárta; ezért a bolygóknak kiterjedtnek *kellett* lenniük. Ez a változtatás komoly matematikai nehézségeket jelentett, és hátráltatta Newton munkáját – a *Principia* megjelenését több, mint egy évtizeddel késleltette. Ennek a "rejtvénynek" a megoldása után *forgó gömbök* mozgásával kezdett foglalkozni. Majd bolygóközi erőket is felvett, és a *perturbációkat* kezdte számolni. Innentől kezdve fordított több gondot a tényekre. Ez a modell számos tényt gyönyörűen magyarázott, sokat azonban továbbra sem. Ekkor *lapított* gömb alakú bolygókkal kezdett el számolni, és így tovább.

Newton lenézte azokat, akikből, mint például Hooke-ból, miután rábukkantak az első naiv modellre, hiányzott a megfelelő kitartás és képesség ahhoz, hogy kutatási programmá fejlesszék, és akik az önmagában érdektelen első változatot "felfedezésnek" tekintették. Newton mindaddig nem jelentette meg eredményeit, amíg programja nem ért el figyelemreméltóan progresszív probléma-eltolódást.⁽¹⁴⁾

A legtöbb, de talán az összes newtoni "rejtvény", amely az egymást felülmúló változatokhoz vezetett, már Newton első naiv modelljének idején is előrelátható volt, és Newton és kollégái kétségkívül *előre is látták ezeket*. Newton minden bizonnyal tudatában volt annak, hogy első változatai egyértelműen tévesek. Az ilyen tények mutatják a legjobban egy kutatási program pozitív heurisztikájának a létezését: ezért beszélünk "modellekről" a kutatási programokban. Egy "modell" kezdeti feltételek olyan halmaza (esetleg bizonyos megfigyelési elméletekkel kiegészítve), amelyről tudjuk, hogy a program további fejlődése során megváltozik majd, és többé-kevésbé azt is tudjuk, hogyan. Ez újfent megmutatja, mennyire irrelevánsak egy kutatási program bármelyik változatának "cáfolatai": létezésükre teljes mértékben számítanak, és a pozitív heurisztika formájában megvan a stratégia

megjósolásukra és feldolgozásukra. Valójában, ha a pozitív heurisztikát pontosan megfogalmazzák, akkor a program nehézségei inkább matematikaiak, mintsem empirikusak.⁽¹⁵⁾

Egy kutatási program pozitív heurisztikája "metafizikai" elvként is megfogalmazható. Newton programjé például így: "a bolygók lényegében durván gömb alakú, gravitáló bűgöcsigák". Soha senki sem képviselte ezt a nézetet *mereven*: a bolygók nem csak gravitációs erővel rendelkeznek, hanem vannak például elektromágneses tulajdonságaik is, amelyek befolyásolhatják mozgásukat. A pozitív heurisztika tehát sokkal rugalmasabb, mint a negatív. Mi több, időnként az is megtörténik, hogy amikor egy kutatási program degenerálódó szakaszba kerül, egy kisebb forradalom, vagy a pozitív heurisztika valamilyen *kreatív megváltoztatása* újra továbbléndíti a programot.⁽¹⁶⁾ Ezért jobb a "kemény magot" elkülöníteni a pozitív heurisztikát kifejező, rugalmasabb metafizikai elvektől.

Mindez azt mutatja, hogy a pozitív heurisztika teljes gőzzel halad előre úgy, hogy gyakorlatilag teljesen eltekint a "cáfolatoktól": esetleg úgy tűnhet, hogy inkább a "verifikációk"⁽¹⁷⁾, mint a cáfolatok jelentik az érintkezési pontot a valósággal. Noha hangsúlyoznunk kell, hogy a program $n+1$ -ik változatának "verifikációja" az n -edik változat cáfolata, nem tagadhatjuk, hogy a következő változat bizonyos kudarcait mindig előre lehet látni. A programot az "igazolások" viszik előre, a makacsul ellenálló esetek dacára.

A kutatási programokat még "elvetésük" után is értékelhetjük *heurisztikus erejük* alapján: aszerint, hogy hány új tény eredményeztek, és hogy "fejlődő szakaszukban mennyire tudták magyarázni cáfolataikat"?⁽¹⁸⁾

(Értékelhetjük őket a matematikára gyakorolt ösztönző hatásuk alapján is. Az elméletalkotók igazi nehézségei nem annyira az anomáliákból, hanem inkább a program *matematikai nehézségeiből* fakadnak. A newtoni program jelentősége részben a klasszikus infinitezimális analízis – newtoniánusok általi – kifejlesztéséből származik, amely döntő előfeltétele volt sikerének.)

Így a tudományos kutatási programok módszertana számot ad *az elméleti tudomány viszonylagos autonómiájáról*, melynek racionalitását a korábbi falszifikacionisták soha sem tudták megmagyarázni. Annak racionális eldöntése, hogy egy erős kutatási programban résztvevő tudósok mely problémákon dolgozzanak, inkább a program pozitív heurisztikáján múlik, mint a lélektanilag nyugtalanító (vagy technológiai szempontból fontos) anomáliákon. Az anomáliákat számba veszik, de félreteszik abban a reményben, hogy a megfelelő időpontban a program korroborációivá fognak átalakulni. Csupán azoknak a tudósoknak kell figyelmeiket az anomáliákra irányítaniuk, akik a próba és tévedés módszerrel dolgoznak,⁽¹⁹⁾ vagy akik egy kutatási program degenerálódó szakaszában tevékenykednek, amikor a pozitív heurisztika már erejét veszítette. (Mindez bizonyára riasztóan hangzik a naiv falszifikacionisták számára, akik úgy tartják, hogy ha egyszer egy elméletet kísérletileg "megcáfoltak" (az *ő* szabálykönyvük szerint), akkor irracionális (és becstelen) azt továbbfejleszteni: ehelyett a régi "megcáfolt" elméletet egy új megcáfolatlan elmélettel kell felcserélni.

(c) Két illusztráció: Prout és Bohr

A pozitív és negatív heurisztika dialektikáját egy kutatási programban legjobban példákkal lehet megvilágítani. Ezért most két látványosan sikeres kutatási program néhány vonását fogom vázlatosan bemutatni: Prout programja⁽²⁰⁾ azon az elképzelésen alapult, hogy minden atom hidrogénatomokból tevődik össze, Bohr programja pedig azon, hogy a fénykibocsátást az okozza, hogy az elektronok az atomokon belül egyik pályáról a másikra ugranak.

(Egy történeti esettanulmány megírásakor, véleményem szerint, a következőképpen kell eljárni: (1) megadjuk a történetek racionális rekonstrukcióját (2) ezt a racionális rekonstrukciót összevetjük a tényleges történettel és az előbbit a történetiség, az utóbbit pedig a racionalitás hiánya miatt bíráljuk.

Eszerint bármilyen történeti vizsgálatot meg kell hogy előzzön egy heurisztikus vizsgálat: a tudománytörténet a tudományfilozófia nélkül vak. Ebben a tanulmányban azonban nem szándékom elmélyülni a második szakaszban.)

(c1) Prout: egy progresszív kutatási program az anomáliák tengerében

Prout 1815-ben, egy név nélkül megjelent tanulmányában azt állította, hogy minden tiszta kémiai elem atomsúlya egész szám. Tisztában volt a bőséges számú anomáliával, azonban azt mondta, hogy ezek azért lépnek fel, mert a kémiai elemek szokványos előfordulásaikban *nem tiszták*: azaz, a kor releváns "kísérleti technikái" nem megbízhatók, avagy – saját megfogalmazásunkban – azok a "megfigyelési" elméletek, amelyek alapján az elmélet alapvető állításainak az igazságát megállapították, tévesek⁽²¹⁾. Prout elméletének képviselői ezért nagyszabású vállalkozásba kezdtek: azoknak az elméleteknek a megdöntését tűzték ki célul, amelyek a tézisükkel szembenálló bizonyítékokat szolgáltatottak. E célból forradalmasítaniuk kellett a kor analitikai kémiáját, és megfelelően helyesbítenniük kellett azokat a kísérleti módszereket, amelyekkel a tiszta elemeket elkülönítették⁽²²⁾. Prout elmélete egymás után győzte le azokat az elméleteket, amelyeket korábban alkalmaztak a kémiai elemek tisztítására. Ennek ellenére, néhány vegyész elfáradt, és feladta a kutatási programot, a végső győzelem ugyanis, a sikerek ellenére, messze volt. Például Stas, bizonyos, az elméletnek makacsul ellentmondó esetek hatására, 1860-ban arra következtetésre jutott, hogy Prout elmélete "nem megalapozott".⁽²³⁾ Másokat azonban jobban bátorítottak az eredmények, mint amennyire elbizonytalanította őket a teljes siker hiánya. Marignac például rögtön visszavágott azzal, hogy "bár szerintem Monsieur Stas kísérletei tökéletes pontosak, azonban nincs bizonyíték arra, hogy mérési eredményei és a Prout törvény által megkövetelt eredmények között megfigyelt eltérést nem lehet a kísérleti módszerek nem kielégítő voltával magyarázni."⁽²⁴⁾ Ahogy Crooke 1886-ban megfogalmazta: "Nem kevés elismert vegyész feltételezi, hogy [Prout elmélete] igaz, azonban ezt a tényt elfedi valamilyen járulékos jelenség, amelyet eddig még nem sikerült kiküszöbölnünk".⁽²⁵⁾ Azaz, kell hogy legyen valamilyen *további* rejtett feltevés a "megfigyelési" elméletekben, amelyekre a kémiai tisztítás "kísérleti technikáit" alapozták, és amelyek segítségével az atomsúlyokat kiszámították. Crooke nézete még 1886-ban is az volt, hogy "a jelenlegi atomsúlyok némelyike csupán egy átlagértéket képvisel".⁽²⁶⁾ Crooke később tudományos (tartalomnövelő) formába öntötte elképzelését: új, konkrét "fraktációs" elméleteket javasolt, egy új "válogató démont".⁽²⁷⁾ Sajnos azonban új megfigyelési elméletei amennyire merészek, éppannyira tévesek is voltak, és mivel nem tudtak új tényeket anticipálni, kimaradtak a tudomány (racionálisan rekonstruált) történetéből. Amint egy nemzedékkal később kiderült, igenis létezett egy alapvető rejtett feltevés, amely elkerülte a kutatók figyelmét: nevezetesen, hogy két tiszta elem elkülönítése *kémiai* eszközökkel véghezvihető. Az az elgondolás, hogy két tiszta elem esetleg minden *kémiai* reakcióban ugyanúgy viselkedik, azonban *fizikai* módszerekkel elkülöníthető egymástól, változtatást igényelt, a "tiszta elem" fogalmának "kitágítását", ami magának a kutatási programnak a megváltozását – *fogalomtágító kiterjesztését* – jelentette.⁽²⁸⁾ Ez a forradalmi, rendkívül *kreatív fordulat* Rutherford iskolájához kötődik;⁽²⁹⁾ és "annyi viszontagság és rendkívül meggyőzőnek tűnő cáfolat után, az a hipotézis, amit Prout, az edinburghi orvos 1815-ben oly könnyedén vetett fel – egy évszázaddal később – az atomok szerkezetére vonatkozó modern elméletek sarokköve lett"⁽³⁰⁾. Mindazonáltal ez a kreatív lépés csupán mellékes eredménye volt egy másik, valójában meglehetősen távoli kutatási programnak; a proutianusok, külső ösztönző híján, soha nem is álmodtak arról például, hogy az elemek elkülönítéséhez nagyteljesítményű centrifugákat építsenek.

(Miután egy "megfigyelési" vagy "értelmező" elméletet végleg elvetnek, az elutasított elmélet keretei által meghatározott "pontos" mérések – visszatekintve – meglehetősen értelmetlennek tűnnek. Soddy kigúnyolta a "mérési pontosság"-ra való öncélú törekvést: "van valami tragikus, sőt talán annál is több abban, ahogy a sors megsemmisítette a 19. század vegyész lángelméinek életművét, amelyet kortársaik joggal a pontosság csúcsaként, a tudományos mérések tökéletes megvalósításaként tiszteltek. Nehezen elért eredményeik, legalábbis pillanatnyilag, éppoly kevésbé tűnnek érdekesnek vagy fontosnak, mint egy halom palack átlagos tömegének a megállapítása, amelyek közül néhány tele van, mások pedig többé vagy kevésbé üresek."⁽³¹⁾)

Hadd hangsúlyozzuk, hogy a kutatási programok itt javasolt metodológiájának fényében soha nem volt semmilyen racionális indok Prout programjának az *elvetésére*. Ez a program csodálatos haladást eredményezett, a számos akadály ellenére is.⁽³²⁾ Vázlatunk azt mutatja be, hogy egy kutatási program hogyan képes megkérdőjelezni az elfogadott tudományos ismeretek jelentős részét; noha a körülmények kezdetben kedvezőtlenek, mint konkrét példánk esetében is, a program képes ezeket lépcsőről lépésre legyőzni és átalakítani.

Prout programjának története azt is igen jól illusztrálja, hogy a tudomány fejlődését hogyan hátráltatta és lassította a jusztifikacionizmus és a naiv falszifikacionizmus. (Az atomelmélettel szembeni 19. századi ellenálláshoz mindkettő erősen hozzájárult.) Hálás példa a rossz módszertannak a tudományra való hatásáról, ami esetleg izgalmas kutatási programot jelenthet a tudománytörténészek számára.

(c2) Bohr: egy ellentmondásos alapokon nyugvó kutatási program fejlődése

Egy gyors pillantás Bohrnak a fény emissziójával kapcsolatos kutatási programjára (a kvantummechanika *korai* korszakában) további illusztrációkkal szolgálhat, és átfogóbbá is teszi tételünket.⁽³³⁾

Bohr kutatási programjának történetét a következőképpen elemezhetjük: (1) a kiindulási probléma; (2) negatív és pozitív heurisztika; (3) azok a problémák, amelyeket a program megkísérelt megoldani; (4) a degenerációs (avagy "kimerülési") pont, és végül (5) a program, amely helyébe lépett.

A problémát az a rejtély jelentette, hogy a Rutherford atomok (azaz a kis bolygórendszerek, amelyekben elektronok keringenek egy pozitív mag körül) miként maradhatnak stabilak; a jól korroborált Maxwell-Lorentz-féle elektromágneses elmélet szerint ugyanis az elektronoknak bele kellene zuhanniuk a magba. Ugyanakkor azonban Rutherford elmélete is jól korroborált volt. Bohr gondolata az volt, hogy ideiglenesen figyelmen kívül hagyja az ellentmondást, és tudatosan olyan kutatási program dolgoz ki, amelyeknek "cáfolható" változatai ellentmondanak a Maxwell-Lorentz elméletnek.⁽³⁴⁾ Elméletének *kemény magja* gyanánt öt posztulátumot javasolt: "(1) az energia [az atomokon belül] nem folytonos módon emmitálódik (vagy abszorbeálódik), ahogy a hagyományos elektrodinamika állítja, hanem csak a rendszerek különböző "stacionárius" állapotai közötti átmenetkor. (2) A rendszerek dinamikus egyensúlyát stacionárius állapotokban a hagyományos mechanika törvényei szabják meg, míg ezek a törvények nem érvényesek a rendszerek különböző állapotai közötti átmenetekre. (3) Egy rendszer két stacionárius állapota közötti átmenet során kisugárzott energia homogén, és a kisugárzott energia frekvenciája és az E teljes kisugárzott energia közötti összefüggést az $E = h$ összefüggés adja meg, ahol h a Planck állandó. (4) Egy pozitív magból és egy körülötte keringő elektrontól álló egyszerű rendszer különböző stacionárius állapotait az a feltétel határozza meg, hogy a konfiguráció kialakulása során kisugárzott teljes energia és a keringési frekvencia aránya $1/2 h$ egész számú többszöröse. Feltételezve, hogy az elektron pályája kör alakú, ez egyenértékű azzal a feltevessel, hogy a mag körül keringő elektron impulzusmomentuma $h/2$. (5) Bármilyen atomi rendszer "állandó" állapotát, azaz azt az állapotát, amelyben a kisugárzott energia maximális, az a feltétel határozza meg, hogy minden a középpont körül keringő elektron impulzusmomentuma $h/2$ nagyságú."⁽³⁵⁾

Vegyük észre az alapvető módszertani különbséget Prout és Bohr programjának inkonzisztenciája között. Prout kutatási programja hadat üzent kora analitikai kémiájának: pozitív heurisztikája meg kívánta dönteni azt, és helyébe akart lépni. Bohr kutatási programjában azonban nem találunk ehhez hasonlót; pozitív heurisztikája, még teljes siker esetén sem oldotta volna meg a Maxwell-Lorentz elmélettel való inkonzisztenciát.⁽³⁶⁾ Egy ilyen elképzelés felvetéséhez még Prouténál is nagyobb bátorság kellett; Einsteinben is felmerült futólag ez a gondolat, de elfogadhatatlannak tartotta és elutasította.⁽³⁷⁾ *A tudomány történetének legfontosabb kutatási programjai közül néhányat olyan régebbi programokhoz toldottak, amelyeknek nyilvánvalóan ellentmondtak.* Például a kopernikuszi asztronómiát az arisztotelészi fizikához toldották, Bohr programját Maxwelléhez. Az ilyen

"hozzátoldások" irracionálisak a juszifikacionisták és a naiv falszifikacionisták számára, akik nem tudják elismerni az ismeretek bővülését inkonzisztens alapon. Ezért a hozzátoldásokat rendszerint valamilyen *ad hoc* húzással álcázzák, – mint például Galilei cirkuláris inercia elmélete vagy Bohr korrespondencia és később komplementaritási elve – amelyeknek egyetlen célja, hogy elleplezzék a "hibákat".⁽³⁸⁾ Ahogy az új toldalékprogram egyre erősebb lesz, a békés egymás mellett élés véget ér, és a szimbiózisból verseny lesz; az új program hirdetői megpróbálják teljesen legyőzni a régi programot.

Lehetséges, hogy Bohrt "hozzátoldott" programjának a sikere vezette ahhoz a téves feltevéshez, hogy a kutatási programokban az ilyen alapvető ellentmondásokat *elvben* el lehet, és el is kell fogadni, és hogy egyáltalán nem jelentenek komoly problémát, csupán hozzájuk kell szoknunk. 1922-ben Bohr megkísérelte lejjebb engedni a tudomány kritikai mércéjét: érvelése szerint "a legtöbb, ami egy elmélettől [azaz egy programtól] elvárható, hogy klasszifikációja, új jelenségek megjósolása révén, hozzájáruljon a megfigyelések fejlődéséhez".⁽³⁹⁾

(Bohrnak ez a kijelentése D'Alembert-éhez hasonló, aki az infinitezimális elmélet megalapozásának ellentmondásaival szembesülve ezt mondta: *Allez en avant et la foi vous viendra*. Margenau szerint "érthető, hogy az elmélet sikere iránti lelkesedés miatt nem vették figyelembe az elmélet rossz felépítését: hiszen Bohr atomja barokk toronyként magasodott a klasszikus elektrodinamika gótikus talapzatán".⁽⁴⁰⁾ Valójában azonban nem igaz, hogy ezt a "rossz felépítést" ne vették volna észre: mindenki tudatában volt, csak – többé-kevésbé – eltekintett tőle a program pozitív szakaszában.⁽⁴¹⁾ A kutatási programok általunk képviselt metodológiája azt mutatja, ez az attitűd racionális, ugyanakkor azt is, hogy a "rossz felépítés" védelmezése a progresszív szakaszt követő időkben irracionális.

Itt el kell mondanunk, hogy Bohr a harmincas és negyvenes években feladta az "új jelenségek" megkövetelését, és hajlandó volt "az atomi jelenségekre vonatkozó sokféle eredmény koordinálásának sürgős feladatával foglalkozni, amelyek napról napra halmozódtak az új tudásterület folyamatos feltárása során".⁽⁴²⁾ Ez azt jelzi, hogy Bohr ebben az időben visszatért a "jelenségek megőrzésére" irányuló programjához, míg Einstein továbbra is szarkasztikusan ragaszkodott ahhoz, hogy "minden elmélet igaz, feltéve hogy megfelelően kapcsolja össze szimbólumait a megfigyelhető mennyiségekkel".⁽⁴³⁾

Azonban a konzisztenciának – a kifejezés erős értelmében⁽⁴⁴⁾ – továbbra is fontos regulatív elvnek kell maradnia (a progresszív probléma-eltolódás követelménye mellett), és az ellentmondásokat (beleértve az anomáliákat) problémaként kell kezelni. Ennek egyszerű az oka. Amennyiben a tudomány az igazságra törekszik, akkor konzisztenciára kell törekednie; ha lemondunk a konzisztenciáról, akkor lemondunk az igazságról is. Az a követelmény, hogy "méréseljük igényeinket",⁽⁴⁵⁾ hogy el kell fogadnunk bizonyos – gyenge vagy erős – ellentmondásokat, továbbra is módszertani bűn marad. Másfelől viszont, ez nem jelenti azt, hogy egy ellentmondás – vagy anomália – felfedezése *azonnal* a program leállítását kell, hogy jelentse: az inkonzisztencia valamilyen ideiglenes, *ad hoc* karanténba zárása, és a program folytatása a pozitív heurisztika alapján racionális lehet. Ez még a matematikában is előfordult, ahogy a korai infinitezimális számítás vagy a naiv halmaz elmélet példái mutatják.⁽⁴⁶⁾

(Ebből a szempontból Bohr "korrespondencia elve" érdekes kettős szerepet játszott programjában. Egyfelől fontos heurisztikus elvként szolgált, amely számos új tudományos hipotézist sugallt, ez pedig új tényekhez vezetett, különösen a spektrumvonalak intenzitásával kapcsolatban.⁽⁴⁷⁾ Másfelől védelmi mechanizmusként is működött, amely "a mechanika és az elektrodinamika klasszikus elméleteinek fogalmait megkísérelte a végsőkig alkalmazni, ezen elméletek és a hatáskvantum ellentmondásának ellenére",⁽⁴⁸⁾ ahelyett, hogy egy egyesített program kidolgozásának szükségességét hangsúlyozta volna. Ebben a második szerepben csökkentette a program problematikusságának fokát.⁽⁴⁹⁾

Természetesen az egész kvantumelméleti kutatási program "hozzátoldott program" volt, és ezért ellenszenves az olyan mélyen konzervatív nézeteket valló fizikus számára, mint például Planck. A hozzátoldott programokkal kapcsolatban két szélsőséges és egyformán irracionális álláspont létezik.

A *konzervatív álláspont* szerint az új programot mindaddig fel kell függeszteni, amíg a régi programot nem sikerült valahogy rendbe hozni: ellentmondásos alapokra ugyanis irracionális építkezni. A "konzervatívok" az ellentmondást úgy próbálják kizárni, hogy az új elmélet posztulátumait (hozzávetőleg) megmagyarázzák a régi elmélet fogalmaival: egy ilyenfajta sikeres *redukció* nélkül irracionálisnak tekintik az új program továbbfejlesztését. Planck ezt az utat választotta. Azonban évtizedes megfeszített munkája nem járt eredménnyel.⁽⁵⁰⁾ Így Laue megjegyzése, amely szerint Planck 1900. december 14-én elhangzott előadása "a kvantumelmélet születésnapja", nem teljesen igaz; ez a nap Planck redukciós programjának születésnapja. Einstein döntött úgy 1905-ben, hogy az alapok pillanatnyi inkonzisztenciája ellenére *tovább* halad, de 1913-ban még ő is visszakozott, amikor is Bohr lépett tovább.

A hozzátoldott programmal kapcsolatos *anarchista álláspont* az alapok anarchiáját erényként dicsőíti, és a (gyenge) inkonzisztenciát vagy a természet alapvető tulajdonságaként értelmezi, vagy az emberi megismerés végső határaként, amint Bohr néhány követője tette.

A *raciónalis álláspontot* leginkább Newton képviselte, akinek némiképp hasonló helyzettel kellett szembenéznie. A lökésen alapuló kartézianus mechanika, amelyhez Newton programját eredetileg hozzáillesztették, (gyengén) inkonzisztens volt Newton gravitációs elméletével. Newton egyszerre dolgozott pozitív heurisztikájára támaszkodva (sikerrel), és redukcionista programján (sikertelenül), és nem értett egyet sem az olyan kartézianusokkal, mint Huygens, akik úgy vélték, hogy nem éri meg ilyen értelmetlen programra vesztegetni az időt, sem pedig túlzottan elhamarkodott tanítványaival, például Cotes-szal, aki úgy vélte, hogy az inkonzisztencia nem jelent problémát.⁽⁵¹⁾

A "hozzátoldott" programra vonatkozó racionális álláspont tehát a program heurisztikus erejének kihasználását javasolja, anélkül, hogy beletörődnénk alapjainak kaotikus voltába. Egészében véve a régi, 1925 előtti kvantumelméletben ez a felfogás uralkodott. Az új, 1925 utáni kvantumelméletben az "anarchista" álláspont vált meghatározóvá, és a modern kvantumfizika "koppenhágai értelmezése" ma a filozófiai obskurantizmus legfőbb képviselője. Az új elméletben Bohr hírhedt "komplementaritási elve" trónra emelte a (gyenge) inkonzisztenciát, mint a természet alapvető tulajdonságát, és a szubjektivistá pozitívizmust, az antilogikus dialektikát, sőt, még a hétköznapi nyelv filozófiáját is összeolvasztotta, egyfajta szentségtelen szövetségben. 1925 után Bohr és társai a tudományos elméletek kritikai standardjának szintjét példátlanul leeresztették. Ez az értelem vereségéhez és a felfoghatatlan káosz anarchista kultuszához vezetett a modern fizikában. Einstein tiltakozott: "Heisenberg és Bohr megnyugtató filozófiája – vagy vallása? – olyan fortélyosan van kiagyvalva, hogy egy időre puha párnát ad az igazhívők feje alá."⁽⁵²⁾ Másfelől viszont lehetséges, hogy Einsteint éppen *túlzottan* magas mércéje gátolta meg a Bohr-modell és a hullámmechanika felfedezésében (vagy talán csak annak publikálásában).

Einstein és szövetségesei nem nyerték meg a csatát. A fizika tankönyvek manapság tele vannak ilyenfajta kijelentésekkel: "A két nézőpont, a kvantumok és az elektromágneses térerősségek, Bohr értelmében komplementerek. Ez a komplementaritás a természetfilozófia egyik nagy eredménye, amellyel a kvantumelmélet ismeretelméletének koppenhágai értelmezése megoldotta a fény korpuszkuláris és hullám elmélete közötti réges-régi ellentétet. Az i. sz. 1. századi Alexandriai Héron visszaverődési és egyenes vonalú terjedési tulajdonságaitól kezdve egészen a tizenkilencedig századig, Young és Maxwell interferencia és hullámtulajdonságaiig, dúlt a vita. A sugárzás kvantumelmélete, amelyet a 20. század első felében dolgoztak ki, meghökkentően hegeli módon, *teljesen* feloldja ezt a dichotómiát".⁽⁵³⁾

Térjünk vissza a régi kvantummechanika felfedezés-logikájához, és összpontosítsunk konkrétan *pozitív heurisztikájára*. Bohr terve az volt, hogy először kidolgozza a hidrogénatom elméletét. Első modellje egy rögzített proton mag és egy körpályán keringő elektron együttese volt; második modelljében egy rögzített síkbeli elliptikus pályával számolt; ezután úgy döntött, hogy elhagyja a mag illetve a pályasík rögzítettségére vonatkozó, nyilvánvalóan mesterséges megszorításokat; később arra gondolt, hogy figyelembe veszi az elektron lehetséges spinjét,⁽⁵⁴⁾ majd

pedig megkísérelte kiterjeszteni programját összetett atomok és molekulák szerkezetére, valamint az elektromágneses tér rájuk gyakorolt hatására is, és így tovább, és így tovább. Mindez már az elején meg volt tervezve: az az elképzelés, hogy az atomok bolygórendszerhez hasonlóak, egy hosszú, bonyolult, de optimista programot vázolt fel, és világosan kijelölte a kutatás stratégiáját.⁽⁵⁵⁾ "Ebben az időben – 1913-ban – úgy tűnt, mintha végre megtalálták volna a spektrumok igazi kulcsát, mintha csak idő és türelem kérdése volna a rejtélyek végső megoldása."⁽⁵⁶⁾

Bohr ünnepelt 1913-as cikke tartalmazta a kutatási program első lépését. Tartalmazta első modelljét (melyet a továbbiakban M_1 -nek fogok nevezni), amely már megjósolt olyan tényeket, amelyeket egyetlen korábbi elmélet sem: nevezetesen a hidrogén emissziós spektrumvonalainak hullámhosszát. Noha ezeknek a hullámhosszoknak egy része korábban is ismert volt – így a Balmer-sorozat (1885) illetve a Paschen-sorozat (1908) –, a Bohr-elmélet jóval többet jósolt meg ennél a két ismert sorozatnál. És az ellenőrzések hamar korroborálták az új tartalmat: 1914-ben Lyman egy újabb Bohr-sorozatot fedezett fel, 1922-ben Brackett, 1924-ben pedig Pfund egy-egy másikat.

Miután a Balmer és a Paschen-sorozatokat már 1913 előtt is ismerték, egyes történészek a "baconi indukciós felemelkedés" példajaként állítják be a történetet: (1) a spektrumvonalak káosza, (2) "empirikus" törvény" (Balmer), (3) elméleti magyarázat (Bohr). Ez kétségkívül olyannak tűnik, mint Whewell három szintje. A tudomány előrehaladása azonban nemigen késlekedett volna a leleményes svájci tanító "próba és tévedés" módszerével nyert eredményei nélkül sem: Balmer eredményeit a spekulatív tudomány fősodrából – amelyet Planck, Rutherford, Einstein és Bohr merész spekulációi vittek előre –, deduktíve levezették volna, elméleteik ellenőrzési állításai gyanánt, Balmer úgynevezett "úttörő" munkája nélkül is. A tudomány racionális rekonstrukciója nemigen honorálja a "naiv feltevések" kiötlőinek fáradozásait.⁽⁵⁷⁾

Valójában Bohr problémája nem a Balmer- és a Paschen-sorozat, hanem a Rutherford-atom paradox stabilitásának magyarázata volt. Mi több, Bohr nem is hallott ezekről a formulákról cikke első változatának megírása előtt.⁽⁵⁸⁾

Bohr első M_1 -es modelljének nem minden állítását korroborálták. Az M_1 modell például azt állította, hogy a hidrogén emissziós spektrumának minden vonalát megjósolja. Azonban kísérleti bizonyítékokat találtak olyan hidrogén sorozatokra, amelyeknek Bohr M_1 -e szerint nem lett volna szabad létezniük. Az anomáliás sorozat a Pickering-Fowler-féle ultraibolya sorozat volt.

Pickering 1896-ban fedezte fel ezt a sorozatot a Puppis csillag spektrumában. Fowler, miután 1898-ban a Napban is felfedezte a sorozat első vonalát, az egész sorozatot létrehozta egy hidrogénnel és héliummal töltött katódcsőben. Azzal is érvelhetnénk persze, hogy a torzszülött vonalnak semmi köze a hidrogénhez, végül is a Nap és a Puppis is számos gázt tartalmaz, és a katódcsőben hélium is volt. A vonalat valóban *nem* lehetett előállítani tiszta hidrogén csőben. Pickering és Fowler "kísérleti technikája", amely Balmer törvényének egy falszifikáló hipotéziséhez vezetett, azonban plauzibilis, noha soha komolyan nem ellenőrzött elméleti háttérre támaszkodott: (a) sorozatuknak a Balmer-sorozattal megegyező konvergenciaszáma volt, és ezért hidrogénsorozatnak tekintették, és (b) Fowler egy plauzibilis magyarázatot adott arra, hogy miért nem lehet a hélium a felelős a sorozatért.⁽⁵⁹⁾

Bohr azonban nem volt lenyűgözve a kísérleti fizikusok "mérvadó" mérési eredményeitől. Nem kérdőjelezte meg "kísérleti pontosságukat", vagy "megfigyeléseik megbízhatóságát", de kétségbevonta megfigyelési elméletüket. És egy másikat javasolt helyette. Először kidolgozta kutatási programjának egy újabb modelljét (M_2): az ionizált hélium modelljét, amelyben egy két protonból álló mag körül kering egy elektron. Nos, ez a modell megjósol egy olyan ultraibolya sorozatot az ionizált hélium spektrumában, amely megegyezik a Fowler-Pickering sorozattal. Ez egy rivális elmélet volt. Ezután "döntő kísérletet" javasolt: azt jósolta, hogy a Fowler-sorozatot elő lehet állítani, akár még erősebb vonalakkal is, egy hélium és klór keverékével töltött csőben is. Mi több, Bohr magyarázatot adott a kísérleti fizikusoknak a hidrogén katalizáló szerepére a Fowler kísérletben, illetve a klórera a maga

javasolta kísérletben, anélkül, hogy egy pillantást vetett volna kísérleti berendezésükre.⁽⁶⁰⁾ És neki lett igaza.⁽⁶¹⁾ Így, ami először a kutatási program vereségének látszott, visszhangzó sikerre változott.

A győzelmet mindazonáltal azonnal kétségbe vonták. Fowler elismerte, hogy sorozata nem hidrogén-hanem héliumsorozat volt. Azonban kimutatta, hogy Bohr torzszülött-kiigazítása⁽⁶²⁾ továbbra is téves. A Fowler-sorozat hullámhosszai jelentősen különböztek Bohr M_2 modellje által jósolt értékektől. Így a sorozat, noha nem cáfolja M_1 -et, továbbra is cáfolja M_2 -t, és az M_1 és M_2 közötti szoros kapcsolat miatt továbbra is aláássa M_2 -t!⁽⁶³⁾

Bohr félresöpörte Fowler érvét: *természetesen* soha nem gondolta azt, hogy az M_2 modellt túl komolyan kellene venni. Eredményei hozzávetőlegesek, amelyek azon a durva közelítésen alapulnak, hogy az elektron egy rögzített mag körül kering; valójában *persze* a mag és az elektron egy közös gravitációs központ körül kering; a tömeget *természetesen* a redukált tömeggel kell helyettesíteni, éppúgy, mint a két-test problémáknál: $m_e = m_e/[1 + m_e/m_n]$.⁽⁶⁴⁾ Ez a módosított modell volt Bohr M_3 modellje. És Fowlernek is el kellett ismernie, hogy Bohrnak megintcsak igaza lett.⁽⁶⁵⁾

M_2 látszólagos cáfolata M_3 győzelmévé vált, és világos volt, hogy M_2 -t és M_3 -t – talán még az M_{17} -et, vagy M_{20} -t is – kidolgozták volna a kutatási programon belül *bármiféle* megfigyelési vagy kísérleti ösztönzés nélkül is. Einstein ekkor mondta Bohr elméletéről, hogy "egyike a legnagyobb felfedezéseknek".⁽⁶⁶⁾

Bohr kutatási programja a tervek szerint haladt előre. A következő lépés az elliptikus pályák kiszámítása volt. Ezt Sommerfeld hajtotta végre 1915-ben, azzal a (váratlan) eredménnyel hogy a lehetséges stabil pályák számának növekedésével *nem* növekedett a lehetséges energiaszintek száma, és így úgy tűnt, hogy nem lehetséges döntő kísérlet, amelynek alapján választani lehetne az elliptikus illetve a körpályás elmélet között. Azonban az elektronok olyan nagy sebességgel keringenek a mag körül, hogy gyorsulásuk miatt tömegüknek észrevehetően meg kell változnia, amennyiben az einsteini mechanika igaz. És valóban, ezekkel a relativisztikus korrekciókkal számolva, Sommerfeld az energiaszintek új csoportját nyerte, és ezáltal megkapta a spektrum "finomszerkezetét".

Az áttérés erre a relativisztikus modellre sokkal komolyabb matematikai gyakorlatot és tehetséget igényelt, mint az első néhány modell kidolgozása. Sommerfeld eredménye elsősorban matematikai volt.⁽⁶⁷⁾

Érdekes módon a hidrogén spektrum dublettjeit Michelson⁽⁶⁸⁾ már 1891-ben felfedezte. Moseley rögtön Bohr első cikkének a megjelenése után rámutatott, hogy modellje "nem magyarázza a második gyengébb vonalat, amely mindegyik spektrumban megtalálható".⁽⁶⁹⁾ Bohr nem bosszankodott: meg volt győződve arról, hogy kutatási programjának pozitív heurisztikája a *maga idejében* majd megmagyarázza, sőt, még helyesbíti is Michelson megfigyeléseit. És így is lett. Sommerfeld elmélete természetesen inkonzisztens volt Bohr elméletének első változataival; a finomszerkezetre vonatkozó kísérletek - a régi megfigyelések korrigálásával! - döntő bizonyítékkal szolgáltak a Sommerfeld elmélet mellett. Sommerfeld és müncheni iskolája Bohr első modelljeinek kudarcait a Bohr-féle kutatási program győzelmeivé fordították át.

Érdekes, hogy pontosan úgy, ahogy Einstein 1913-ban elbizonytalanodott, és kutatásai a kvantumfizika látványos haladása közepette lelassultak, Bohr is elbizonytalanodott és lelassult 1916-ban; és ahogy 1913-ban Bohr vette át a kezdeményezést Einsteintől, 1916-ban Sommerfeld⁽⁷⁰⁾ vette át Bohrtól. Bohr koppenhágai és Sommerfeld müncheni iskolájának légköre között szembevető volt a különbség: "Münchenben konkrétan fogalmaztak, és ezért könnyebb volt megérteni őket; sikeresek voltak a spektrumok rendszerezésében, illetve a vektormodell alkalmazásában. Koppenhágában azonban úgy gondolták, hogy az új jelenségekre megfelelő nyelvet még nem sikerült megtalálni, és ezért tartózkodtak a túlzottan határozott megfogalmazásoktól, óvatosabban és általánosabb terminusokban fejezték ki magukat, és ezért sokkal nehezebb volt megérteni őket."⁽⁷¹⁾

Vázlatunk megmutatja, hogyan teszi a progresszív változás hihetővé és *ésszerűvé* az ellentmondásos programot. Born, Planckról szóló nekrológiájában, világosan leírja ezt a folyamatot: "Természetesen a hatáskvantum bevezetése önmagában nem jelenti a *helyes* kvantumelmélet megalapozását ... Azok a nehézségeket, amelyeket a hatáskvantumnak a jól megalapozott, klasszikus elméletbe való bevezetése a kezdetektől fogva jelentett, már említettük. És a nehézségek, ahelyett, hogy eltűntek volna, fokozódtak; s noha a kutatások haladása néhányat felszámolt közülük, az elméletben továbbra is megmaradó hézagok annál csüggesztőbbek voltak a lelkiismeretes elméleti fizikusok számára. Valójában a Bohr-elméletben az események törvényeinek alapjául szolgáló egyes hipotézisek olyanok voltak, amelyeket egy nemzedékkal korábban minden fizikus nyomban elutasított volna. Az, hogy az atomokon belül bizonyos kvantált (azaz a kvantumelv alapján kiválasztott) pályák különleges szerepet játszanak, még elfogadható; némiképp nehezebben fogadható el az a további feltételezés, hogy az ezeken a görbe vonalú pályákon mozgó, és ezáltal gyorsuló elektronok, nem sugároznak ki energiát. Azt azonban, hogy az emittált fénykvantum pontosan meghatározott frekvenciájának különböznie kell a kibocsátó elektron frekvenciájától, a klasszikus hagyományokon nevelkedett elméleti fizikusok döbbenetesnek és felfoghatatlannak tekintették. Azonban a számok [vagy inkább a *progresszív probléma-eltolódások*] a döntőek, és ebből fakadóan a szerepek felcserélődtek. Eredetileg az volt a kérdés, hogy miként lehet az új, különös elemet a lehető legkisebb feszültség árán beleilleszteni egy már létező rendszerbe, amelyet általánosan elfogadottnak tekintettek; *a betolakodóazonban, miután biztos pozícióra tett szert, támadásba ment át*; és ma már biztosnak látszik, hogy valamikor fel fogja robbantani a régi rendszert. A kérdés ma már csupán a robbanása helye és nagysága."⁽⁷²⁾

Az egyik legfontosabb tanulság, ami a kutatási programok tanulmányozásából leszűrhető, hogy viszonylag kevés kísérlet igazán fontos. Az elméleti fizikusok számára az ellenőrzések és "cáfolatok" rendszerint olyannyira nem szolgálnak érdekes heurisztikus útmutatással, hogy a nagyszabású ellenőrzés – vagy akár a már meglévő adatokkal való túlzott foglalkozás – időpocsékolásnak bizonyulhat. A legtöbb esetben nincs szükségünk cáfolatokra ahhoz, hogy tudjuk, egy elméletet sürgősen egy másikkal kell felcserélni: a program pozitív heurisztikája amúgy is továbbragad bennünket. Hasonlóképpen, a program újszülött változatának szigorú, "cáfolható interpretációt" adni veszélyes módszertani kegyetlenség. Az is lehetséges, hogy az első változatok kizárólag nem létező, "ideális" esetekre "vonatkoznak"; esetleg többévtizedes elméleti munka szükséges ahhoz, hogy elérkezzünk az első új tényekhez, és még több idő a kutatási programok *érdekes módon ellenőrizhető* változataihoz, egy olyan szint eléréséhez, ahol a cáfolatok többé nem láthatók előre magának a programnak a fényében.

A kutatási programok dialektikája eszerint nem feltétlenül spekulatív feltevések és empirikus cáfolatok váltakozásának sorozatából áll. A program fejlődésének és empirikus ellenőrzésének kölcsönhatása igen sokféle lehet – hogy ténylegesen melyik séma valósul meg, az csupán a történelmi véletlenen múlik. Említsünk meg három tipikus variációt.

(1) Képzeljük el, hogy az első három egymást követő változat, H_1 , H_2 , H_3 egyaránt sikeresen jósolnak meg bizonyos új tényeket, másokat viszont nem, azaz mindegyik változat ugyanúgy korroborált és megcáfolt. Végül egy H_4 változatot javasolnak, amely megjósol bizonyos új tényeket, és a legkomolyabb ellenőrzések próbáját is kiállja. A probléma-eltolódás progresszív, a feltevések és cáfolatok gyönyörű popperi váltakozásával állunk szemben.⁽⁷³⁾ Az emberek csodálni fogják ezt, mint annak klasszikus példáját, amikor elmélet és kísérlet kéz a kézben jár.

(2) Egy másik lehetséges séma szerint Bohr egyedül dolgozta volna ki H_1 -et, H_2 -t, H_3 -at és H_4 -et (esetleg Balmer sem előzte volna meg), de önkritikusan nem publikálta volna őket H_4 kidolgozásáig. Ezután H_4 -et ellenőrizték volna: minden bizonyíték korroborálta volna H_4 -et, azaz az első (és egyetlen) publikált hipotézist. Az – íróasztalánál ülő – elméleti fizikus ebben az esetben, úgy tűnik, messze a kísérleti fizikusok előtt jár: az elméleti fejlődés viszonylagosan autonóm szakaszával van dolgunk.

(3) Tegyük fel, hogy H_1, H_2, H_3 és H_4 kidolgozása idején már *minden*, e három sémában említett empirikus bizonyítékkal rendelkezünk. Ebben az esetben H_1, H_2, H_3 és H_4 nem számít empirikusan progresszív probléma-eltolódásnak, és a tudósnak, noha minden empirikus bizonyíték alátámasztja elméletét, tovább kell dolgoznia, hogy bizonyítsa programjának tudományos értékét.⁽⁷⁴⁾ Ilyen helyzet előállhat amiatt, mert egy régebbi kutatási program (amellyel szemben a H_1 -et, H_2 -t, H_3 -at és H_4 -et eredményező kutatási program kihívást jelent) már mindezeket a tényeket leszállította, - vagy pedig mert túl sok kormánytámogatás állt rendelkezésre a spektrumvonalakra vonatkozó adatok gyűjtésére, és a "napszámosok" véletlenül rábukkantak mindezekre az adatokra. Mindazonáltal az utóbbi eset rendkívül valószínűtlen, mivel, ahogy Cullen szokta volt mondani, "a világban forgalomban lévő téves tények száma végtelenül meghaladja a téves elméletekét".⁽⁷⁵⁾ A legtöbb ilyen esetben a kutatási programok ellentétben állnak az ismert "adatokkal", az elméleti fizikusok megvizsgálják a kísérleti fizikusok "kísérleti technikáit" és megfigyelési elméleteik megdöntésével és megváltoztatásával helyesbítik adataikat, és ezáltal új adatokat produkálnak.⁽⁷⁶⁾

E módszertani kitérő után térjünk vissza Bohr programjához. A pozitív heurisztika első felvázolása idején nem látták előre, és nem tervezték meg a program minden szakaszát. Amikor különös hézagok jelentkeztek Sommerfeld kifinomult modelljében (nevezetesen, a modell olyan vonalakat predikált, amelyeket soha sem mértek), Pauli egy mély segédhipotézist javasolt (az ún. "kizárási elvet"), amely nem csupán ezeket a hézagokat magyarázta, hanem újraformálta az elemek periódusos rendszerének héjelméletét, és korábban ismeretlen tényeket anticipált.

Nem kívánom itt részletesen ismertetni a Bohr program fejlődésének történetét. Részletes tanulmányozása azonban módszertani szempontból igazi aranybánya: csodálatosan gyors fejlődése - ellentmondásos alapokra támaszkodva! - lélegzetelállító volt, szépsége, eredetisége és segédhipotéziseinek empirikus sikere, amelyeket briliáns, sőt zseniális tudósok dolgoztak ki, példa nélküli a fizika történetében.⁽⁷⁷⁾ A program egymást követő lépései időnként csak triviális javítást igényeltek, mint például a tömeg helyettesítését a redukált tömeggel. Máskor azonban az új változat megszületéséhez új, kifinomult matematikára volt szükség – mint például a sok-test probléma matematikája – vagy kifinomult, új segédelméletekre. A kiegészítő matematikát vagy fizikát vagy már valamilyen korábbi elméletből vették át (például a relativitáselméletből), vagy újonnan találták ki (mint Pauli a kizárási elvet). Az utóbbi esetben a pozitív heurisztika "kreatív megváltozásának" vagyunk tanúi.

Azonban még ez a nagyszerű program is elérkezett arra a pontra, ahol megszűnt heurisztikus ereje. Az *ad hoc* hipotézisek megsokszorozódtak, és nem lehetett őket tartalombővítő magyarázatokkal helyettesíteni. Például Bohr a molekuláris (sáv) spektrumokra vonatkozó elméletéből a kétatomos molekulákra a következő formulát vezette le:

$$\nu = \frac{h}{8\pi^2 I} [(m+1)^2 - m^2]$$

Azonban ezt a formulát megcáfolták. Bohr követői az m^2 -et $m(m+1)$ -re cserélték fel: ez összhangban állt a tényekkel, azonban reménytelenül *ad hoc* volt.

Ezután következett az alkáli spektrumokban jelentkező megmagyarázatlan dublettek problémája. Landé 1924-ben egy *ad hoc* "relativisztikus hasadási szabállyal" magyarázta őket, Goudsmit és Uhlenbeck 1925-ben az elektron spinjével. Ha Landé magyarázata *ad hoc* volt, Goudsmité és Uhlenbecké ráadásul ellent is mondott a speciális relativitáselméletnek: az igencsak nagyméretű elektron felületi pontjainak gyorsabban kellett mozogniuk a fénysebességnél, és az elektronnak nagyobbak kellett lennie az egész atomnál.⁽⁷⁸⁾ Egy ilyen javaslathoz meglehetősen bátorságra volt szükség. (Kronigban már korábban felmerült ez a gondolat, de nem publikálta, mert elfogadhatatlannak tartotta.⁽⁷⁹⁾)

Azonban a vakmerő, vadul inkonzisztens javaslatok nem hoztak több babért. A program a "tények" felfedezése mögött kullogott. Emésztetlen anomáliák árasztották el az egész területet. A még komolyabb ellentmondásokkal és még inkább *ad hoc* hipotézisekkel megkezdődött a kutatási program degenerálódó szakasza: a program – hogy Popper kedvenc fordulatával éljünk – kezdte "elveszíteni empirikus karakterét".⁽⁸⁰⁾ Ezen kívül, számos olyan probléma volt, mint például a perturbációk elmélete, amelyek megoldására nem is lehetett számítani a program keretei között. Hamarosan feltűnt egy rivális elmélet: a hullámmechanika. Az új program nem csak hogy magyarázatot adott Planck és Bohr kvantumfeltételeire, hanem már legelső változatában is (de Broglie, 1924) elvezetett egy új, izgalmas tényhez, amelyet a Davisson-Germer kísérlet tárt fel. Későbbi, még kifinomultabb változatai olyan problémákra is megoldást kínáltak, amelyek teljesen kiestek Bohr kutatási programjának hatóköréből, és a Bohr-program későbbi, *ad hoc* elméleteit magas módszertani követelményeket kielégítő elméletekkel magyarázták meg. A hullámmechanika hamarosan elterjedt, legyőzte a Bohr-programot, és átvette helyét.

De Broglie cikke akkor jelent meg, amikor a Bohr program már degenerálódó fázisban volt. Ez azonban merő véletlen. Vajon mi történt volna, ha de Broglie 1914-ben írta és publikálta volna cikkét, nem pedig 1924-ben?

(d) A döntő kísérletek új szemszögből: az instant racionalitás vége

Helytelen lenne feltételezni, hogy mindaddig ki kell tartanunk egy bizonyos kutatási program mellett, amíg az minden heurisztikus erejét ki nem meríti, hogy addig nem szabad egy rivális programot elindítanunk, amíg mindenki egyet nem ért abban, hogy feltehetően elértük a degenerációs pontot (noha persze meg lehet érteni a fizikusok bosszúságát, amikor egy kutatási program pozitív szakaszának a közepén olyan bizonytalan metafizikai elméletek tömegével találják szembe magukat, amelyek nem ösztönzik az empirikus fejlődést.⁽⁸¹⁾ Soha nem szabad megengedni, hogy egy kutatási program világnézeté, vagy egyfajta *tudományos követelménnyé váljon* – mint a matematikában a szigorúság követelménye –, amely döntőbíróként lép fel abban a kérdésben, hogy mi számít magyarázatnak, és mi nem. Sajnos Kuhn erre az álláspontra hajlik: amit ő "normál tudománynak" nevez, valójában nem más, mint egy monopolhelyzetbe került kutatási program. Azonban a tény az, hogy kutatási programok csak igen ritkán és csak rövid időre tettek szert teljes monopóliumra, egyes kartézianusok, newtonianusok és Bohr-követők minden igyekezete ellenére. *A tudomány története mindig is versengő kutatási programok (vagy ha úgy tetszik, "paradigmák") története volt, és az is kell, hogy legyen, nem pedig egymást követő normál tudományos szakaszok sorozata: a fejlődés szempontjából annál jobb, minél előbb kezdődik a versengés.* Az "elméleti pluralizmus" jobb, mint az "elméleti monizmus": ebben a kérdésben Poppernek és Feyerabendnek van igaza, Kuhn pedig téved.⁽⁸²⁾

A versengő kutatási programok gondolata a következő problémához vezet: *hogyan szűnnek meg a kutatási programok?* Korábbi fejtegetéseinkből már kiderült, hogy egy probléma-eltolódás degenerálódó volta éppúgy nem elégséges indok egy kutatási program feladásához, mint valamilyen régimódi "megcáfolás", vagy egy kuhni "válság". *Vajon lehetséges-e egyáltalán valamilyen objektív (azaz nem szociálpszichológiai) indokot találni egy program elutasításához, azaz a kemény mag illetve a védőöv képzési tervének kiküszöböléséhez?* Válaszunk röviden az, hogy ilyen objektív indokot egy olyan rivális kutatási program létezése szolgáltat, amely megmagyarázza az előbbi sikereit, *heurisztikus ereje pedig nagyobb.*⁽⁸³⁾

A "heurisztikus erő" kritériuma erősen függ attól, hogy miként értelmezzük a "tényszerű újdonságot". Ezidáig azt feltételeztük, hogy azonnal megállapítható, egy új elmélet új tényeket predikál-e vagy sem.⁽⁸⁴⁾ Valójában azonban *csak hosszú idő elteltével lehet megállapítani, hogy egy ténykijelentés újdonság-e.* Ennek bemutatását egy példával kezdem.

Bohr elméletéből logikailag következik a hidrogén vonalakra vonatkozó Balmer-formula.⁽⁸⁵⁾ Vajon ez új tény volt? Esetleg tagadhatnánk ezt, hiszen a Balmer-formula végül is közismert volt. Ez azonban csak fél igazság. Balmer pusztán "megfigyelte" B_1 -et: azaz, hogy a hidrogén vonalai megfelelnek a Balmer-formulának. Bohr megjósolta B_2 -t: azaz, hogy a hidrogén elektronpályák energiaszintjei közötti különbségek megfelelnek a Balmer-formulának. Esetleg mondhatjuk azt, hogy B_1 már tartalmazta B_2 minden tisztán "megfigyelési" tartalmát. Ez azonban előfeltételezi, hogy létezik egy tisztán "megfigyelési szint", amely az elmélet által érintetlen, amelyet az elmélet változása nem befolyásol. Valójában B_1 -et csupán azért fogadták el, mert a Balmer által alkalmazott optikai, kémiai és egyéb elméletek megfelelően korroboráltak, és értelmező elméletekként elfogadottak voltak; ezeket az elméletek viszont mindig kétségbe lehet vonni. Esetleg érvelhetünk úgy, hogy B_1 -et "meg tudjuk tisztítani" elméleti előfeltevéseitől, és így, egy szerényebb tétel, B_0 formájában megragadhatjuk azt, amit Balmer valójában megfigyelt; nevezetesen, hogy bizonyos csövekben, jól meghatározott körülmények között (vagy "egy ellenőrzött kísérlet"⁽⁸⁶⁾ keretein belül) emittált vonalak kielégítik a Balmer-formulát. Nos, Popper bizonyos érvei mellett szólnak, hogy soha nem érhetünk el ilyen módon valamilyen szilárd "megfigyelési" alappozícióhoz; könnyű megmutatni, hogy B_0 is tartalmaz megfigyelési elméleteket.⁽⁸⁷⁾ Másfelől, mivel a Bohr-program, hosszú fejlődés után bizonyította heurisztikus erejét, kemény magja is erősen korroborálttá vált,⁽⁸⁸⁾ és ezért "megfigyelési" vagy értelmező elméletnek minősíthető. Ezek után azonban B_2 -t már nem B_1 elméleti újrainterpretálásának tekintjük csupán; hanem új ténynek, önmaga jogán.

Ezek a megfontolások tovább hangsúlyozzák értékeléseink retrospektív jellegét, és standardjaink további liberalizálásához vezetnek. Egy kutatási program, amely éppen csak rajthoz állt, elindulhat "régieket" új értelmezésével, lehetséges azonban, hogy igen sokáig nem lesz képes igazi új tényeket produkálni. Például évtizedekig úgy látszott, hogy a kinetikus hőelmélet lemarad a fenomenologikus elmélet eredményei mögött, mígnem 1905-ben a Brown-mozgás Einstein-Smoluchowski-féle elméletével végül átvette a vezetést. Ezután mindarról, ami korábban a régi (a hőre stb. vonatkozó) tények spekulatív újraértelmezésének tűnt, kiderült, hogy (az atomokra vonatkozó) új tény.

Mindennek alapján úgy tűnik, hogy egy kiforratlan kutatási programot nem szabad pusztán azért elvetnünk, mert egyelőre nem sikerült legyőznie valamelyik erős versenytársát. Amennyiben feltételezhetjük, hogy a program probléma-eltolódása progresszív lenne, ha nem létezne egy rivális program, akkor nem szabad elvetnünk.⁽⁸⁹⁾ És mindenképpen új tényeknek kell tekintenünk az újraértelmezett tényeket, figyelmen kívül hagyva az amatőr ténygyűjtőgépek arcátlan igényét az elsőbbségre. Amennyiben egy kiforratlan kutatási program racionális rekonstrukciója progresszív probléma-eltolódást eredményez, egy ideig meg kell védeni erősebb, jobban megalapozott versenytársaitól.⁽⁹⁰⁾

Ezek a megfontolások, összességükben a módszertani tolerancia fontosságát hangsúlyozzák, de továbbra is megválaszolatlanul hagyják azt a kérdést, hogy miként számolódna fel a kutatási programok. Az olvasó esetleg úgy vélheti, hogy a tévedés lehetőségére helyezett ilyen nagy hangsúly olymértékben liberalizálja, vagy inkább fellazítja standardjainkat, hogy a radikális szkepticizmusnál fogunk kikötni. Még a nevezetes "döntő kísérletek" sem lesznek képesek megdönteni egy kutatási programot: "bármilyen elmélet".⁽⁹¹⁾

Ez a gyanú azonban megalapozatlan. Egy-egy kutatási programon belül meglehetősen gyakoriak a "kisebbségi döntő kísérletek". Az n -edik és $n+1$ -edik változat között könnyen "döntenek" a kísérletek, hiszen az $n+1$ -dik változat nem csupán ellentmond az n -ediknek, hanem le is győzi azt. Ha az $n+1$ -dik változat nagyobb korroborált tartalommal rendelkezik ugyanannak a programnak, illetve ugyanazoknak a jól korroborált megfigyelési elméleteknek a fényében, akkor a kiküszöbölés rutineljárásnak számít (azonban csak viszonylagosan, mivel még e döntés ellen is lehet "fellebbezni"). A fellebbezés rendszerint szintén könnyű: sok esetben a kétségbevonott megfigyelési elmélet, amely távolról sem jól korroborált, valójában nem több kifejtetlen, naiv, "rejtett" előfeltevésnél, amelynek a létezése csupán e kihívás miatt táruul fel, s csupán e kihívás vezet az előfeltevés részletes kidolgozásához, ellenőrzéséhez, és bukásához. Más esetekben azonban a megfigyelési elméletek

maguk is bele vannak ágyazva valamilyen kutatási programba, és ekkor a "fellebbezési eljárás" két kutatási program összeütközéséhez vezet: ilyen esetekben "nagy döntő kísérletre" van szükség.

Két kutatási program versenye esetén, első "ideális" modelljeik rendszerint a terület más-más jelenségeire vonatkoznak (például Newton félig korpuszkuális optikájának első modellje a fénytörést írta le, Huygens hullámoptikájának első modellje az interferenciát). Ahogy a rivális programok terjeszkednek, fokozatosan benyomulnak egymás területére is, és az egyik n -edik változata szembeütközően inkonzisztens lesz a második m -edik változatával.⁽⁹²⁾ Egy bizonyos kísérlet többszöri megismétlésnek eredményeképpen *ebben a csatában* az első program veszít, a második győzedelmeskedik. A *háborúnak* azonban nincs vége: minden kutatási program elveszíthet néhány csatát. A visszatéréshez mindössze egy $n+1$ -edik (vagy $n+k$ -adik), tartalom bővítő változat kidolgozására van szükség, valamint az új tartalom egy részének a verifikálására.

Amennyiben hosszas fáradozás után sem sikerül a visszavágás, akkor a háború elveszett, és az eredeti kísérletet, *utólag*, döntőnek látjuk. Azonban, különösen akkor, ha egy fiatal és gyorsan fejlődő program veszít csatát, és ha úgy döntünk, hogy "tudomány előtti" sikereit megfelelően méltányoljuk, akkor az állítólagos döntő kísérletek egymás után szertefoszlanak a rohamos előrehaladás során. Még ha a vesztes egy régi, meggyökeresedett és "fáradt" program, amely közel jár "természetes kimerülési pontjához",⁽⁹³⁾ akkor is sokáig ellenállhat, és kitarthat ötletes tartalomnövelő újításokkal, még ha ezeket nem is jutalmazza empirikus siker. Igen nehéz legyőzni egy olyan kutatási programot, amelyet tehetséges és erős képzelőerővel megáldott tudósok védelmeznek. Másfelől, a legyőzött programok csökönyös védelmezői *ad hoc* magyarázatokat is kínálhatnak a kísérletekre, vagy ravaszul megpróbálhatják a győztes programot a legyőzöttre "redukálni". Az ilyen próbálkozásokat azonban, mint tudománytalanokat, el kell utasítanunk.⁽⁹⁴⁾

E megfontolásaink megmagyarázzák, hogy a döntő kísérletek miért csak évtizedekkel később tűnnek döntőnek. Kepler ellipsziseit csak mintegy száz évvel Newton tételeinek megfogalmazása után fogadták el általánosan döntő bizonyítékként Newton mellett és Descartes ellen. A Merkúr perihélium anomáliának viselkedését átmenetét évtizedekig a newtoni program számos megoldatlan problémájának egyikeként fogták fel; és ezt az unalmas anomáliát csak az változtatta át Newton kutatási programjának briliáns cáfolatává, hogy Einstein elmélete magyarázatot adott rá.⁽⁹⁵⁾ Young azt állította, hogy 1802-es kétréses kísérlete az optika korpuszkuális és a hullámprogramja közötti döntő kísérlet volt; állítását azonban csak jóval később fogadták el, azután, hogy Fresnel "progresszív" továbbfejlesztette a hullámprogramot, és világossá vált, hogy heurisztikus erejével a newtoniánusok nem bírják a versenyt. Az évtizedek óta ismert anomália csak a két rivális program egyenlőtlen fejlődésének hosszú időszaka után nyerte el a cáfolat, a kísérlet pedig a "döntő kísérlet" megtisztelő címet. A Brown-mozgás már közel egy évszázada a csatamezőn hevert, amikor elkezdtek úgy tekinteni rá, mint a fenomenológiai program legyőzőjére, amely az atomisták javára dönti el a háborút. A Balmer-sorozat Michelson-féle "cáfolatát" egy nemzedéken át figyelmen kívül hagyták, mindaddig, amíg Bohr győzedelmes kutatási programja alá nem támasztotta azt.

Hivatkozások

Bohr (1913a): "On the Constitution of Atoms and Molecules", *Philosophical Magazine*, **26**, 1–25, 476–502. és 857–75.

Bohr (1913b): Letter to Rutherford, 6.3.1913; in Bohr (1963), xxxviii–ix.

Bohr (1913c): "The Spectra of Helium and Hydrogen", *Nature*, **92**, 231–2.

Bohr (1922): "The Structure of the Atom", *Nobel Lecture*.

Bohr (1926): Letter to *Nature*, **117**, p. 264.

Bohr (1930): "Chemistry and the Quantum Theory of Atomic Constitution", Faraday Lecture 1930, *Journal of the Chemical Society*, 1932/1, 349–84.

Bohr (1933): "Light and Life", *Nature*, **131**, 421–3. és 457–9. (Magyarul: "Fény és élet" in *Atomfizika*

- és emberi megismerés, Budapest: Gondolat, 1984. 11–26.)
- Bohr (1936): "Conservation Laws in Quantum Theory", *Nature*, **138**, 25–6.
- Bohr (1949): "Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics", in Schilpp (ed.): *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, I, 201–41. (Magyarul: "Vita Einsteinnel az atomfizika ismeretelméleti problémáiról" in *Atomfizika és emberi megismerés*, Budapest: Gondolat, 1984. 56–107.)
- Bohr (1963): *On the Constitution of Atoms and Molecules*.
- Born (1948): "Max Karl Ernst Ludwig Planck", *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, **6**, 161–80.
- Born (1954): "The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics", *Nobel Lecture*. (Magyarul: "A kvantummechanika statisztikai jellege" in *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1973. 293–306.)
- Crookes (1886): Presidential Address to the Chemistry Section of the British Association, *Report of British Association*, 558–76.
- Crookes (1888): Report at the Annual General Meeting, *Journal of the Chemical Society*, **53**, 48–7504.
- Davissón (1937): "The Discovery of Electron Waves", *Nobel Lecture*.
- Duhem (1906): *La théorie physique, son objet et sa structure*, A második (1914-es) kiadás angol fordítása: *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press, 1954.
- Ehrenfest (1911): "Welche Züge der Lichtquantenhypothese spielen in der Theorie der Wärmestrahlung eine wesentliche Rolle?", *Annalen der Physik*, **36**, 91–118.
- Ehrenfest (1913): *Zur Krise der Lichtäther-Hypothese*, Berlin: Springer.
- Einstein (1928): Letter to Schrödinger, 31.5.1928; in K. Przibram (ed.): *Briefe Zur Wellenmechanik*, Vienna: Springer 1963.
- Evans (1913): "The Spectra of Helium and Hydrogen". *Nature*, **92**, o. 5.
- Feyerabend (1965): "Reply to Criticism", in Cohen and Wartofsky (eds): *Boston Studies in the Philosophy of Science*, II, 223–61. Dordrecht: Reidel.
- Feyerabend (1968-9): "On a Recent Critique of Complementarity", *Philosophy of Science*, **35**, 309-31. és **36**, 82–105.
- Feyerabend (1970): "Against Method", in *Minnesota Studies for the Philosophy of Science*, **4**.
- Fowler (1912): "Observations of the Principal and Other Series of lines in the Spectrum of Hydrogen", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **73**, 62–71.
- Fowler (1913a): "The Spectra of Helium and Hydrogen", *Nature*, **92**, p. 95.
- Fowler (1913b): "The Spectra of Helium and Hydrogen", *Nature*, **92**, p. 232.
- Fowler (1914): "Series Lines in Spark Spectra", *Proceedings of the Royal Society of London (A)*, **90**, 426–30.
- Fresnel (1818): "Lettre à François Arago sur l'influence du mouvement terrestre dans quelques Phénomènes Optiques", *Annales de Chimie et de Physique*, **9**, 57 sk. o.
- Galilei (1632): *Dialogo dei Massimi Sistemi* (Magyarul: Párbeszéd a két legnagyobb világrendszeréről, a ptolemaiosziról és a kopernikusziról, Bukarest: Kriterion, 1983.)
- Heisenberg (1955): "The Development of the Interpretation of Quantum Theory", in W. Pauli (ed.): *Niels Bohr and the Development of Physics*. London: Pergamon.
- Hevesy (1913): "Letter to Rutherford, 14.10.1913", idézve in Bohr (1963), XLII.
- Hund (1968): "Göttingen, Copenhagen, Leipzig im Rückblick", in Bopp (ed.): *Werner Heisenberg and die Physik unserer Zeit*, Braunschweig. Vieweg.
- Jammer (1966): *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill.
- Joffé (1911): "Zur Theorie der Strahlungserscheinungen", *Annalen der Physik*, **36** 534-52.
- Koyré (1965): *Newtonian Studies*. London: Chapman and Hell.
- Kramers (1923): "Das Korrespondenzprinzip und der Schalenbau des Atoms", *Die Naturwissenschaften*, **II** 550–9.
- Kuhn (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962. (Magyarul: *A tudományos forradalmak szerkezete*, Budapest: Gondolat, 1984.)
- Kuhn (1965): "Logic of Discovery or Psychology of Research", in I. Lakatos and A. Musgrave (eds.): *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, 1970, 1–23.
- Lakatos (1962): "Infinite Regress and the Foundations of Mathematics", *Aristotelian Society*

Supplementary Volume, **36**, 155–94.

Lakatos (1963-4): "Proofs and Refutations", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **14**, 1–25, 120–39, 221–43, 296–342. (Magyarul: *Bizonyítások és cáfolatok*, Budapest: Gondolat, 1981.)

Lakatos (1968a): "Changes in the Problem of Inductive Logic", in Lakatos (ed.): *The Problem of Inductive Logic*, Amsterdam: North-Holland. 315–417.

Lakatos (1968b): "Criticism and the Methodology of Scientific Research Programmes" in *Proceedings of the Aristotelian Society*, **69**, 149–86. (Magyarul: "A kritika és a tudományos kutatási programok metodológiája", *Lakatos Imre tudományfilozófiai írásai*, Budapest: Atlantisz, 1997. 19–63. o.)

Lakatos (1971a): "Popper zum Abgrenzungs- Induktionsproblem", in H. Lenk (ed.) *Neue Aspekte der Wissenschaftstheorie*, Braunschweig: Vieweg.

Lakatos (1971b): "History of Science and its Rational Reconstructions", in R. C. Buck R. S. Cohen (eds.): *PSA 1970, Boston Studies in the Philosophy of Science*. **8**, 91–135. (Magyarul: "A tudomány története és annak racionális rekonstrukciói", *Lakatos Imre tudományfilozófiai írásai*, Budapest: Atlantisz, 1997. 65–128. o.)

Lakatos (1971c): "Replies to Critics", in R. C. Buck and R. C. Cohen (eds.): *PSA Boston Studies in the Philosophy of Science*. **8**, 174–82. Dordrecht: Reidel.

Lakatos (1974): "Popper on Demarcation and Induction" in P. A. Schilpp (ed.): *The Philosophy of Karl Popper*, 241–73. La Salle: Open Court.

Laplace (1796): *Exposition du Système du Monde*, Paris: Bachelier.

McCulloch (1825): *The Principles of Political Economy: With a Sketch of the Rise and Progress of the Science*, Edinburgh: William and Charles Tait.

MacLaurin (1748): *Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*.

Margenau (1950): *The Nature of Physical Reality*, New York: Graw-Hill.

Marignac (1860): "Commentary on Stas' Researches on the Mutual Relations of Atomic Weights", újranyomva in *Prout's Hypothesis*, Alembic Club Reprints, **20**, 48–58.

Maxwell (1871): *Theory of Heat*, London: Longmans.

Moseley (1914) "Letter to Nature", *Nature*, **92**, p. 554.

Mott (1933): "Wellenmechanik und Kernphysik", in Geiger and Scheel (eds.): *Handbuch der Physik*, Zweite Auflage, **24/1**, 785–841.

Neurath (1935): "Pseudorationalismus der Falsifikation", *Erkenntnis*, **5**, 353–65.

Nicholson (1913) "A Possible Extension of the Spectrum of Hydrogen", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **73**, 382–5.

Pauli (1961): "Zur älteren und neueren Geschichte des Neutrinos", in Pauli: *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie*, 156–80.

Planck (1900a): "Über eine Verbesserung der Wienschen Spektralgleichung", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **2**, 202-4; angol fordítás in Ter Haar (1967). (Magyarul: "A Wien-féle eloszlási törvény módosításáról" in *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1982. 339–44. o.)

Planck (1900b): "Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **2**, 237–45, angol fordítás in Ter Har (1967). (Magyarul: "A normálspektrum energia eloszlási törvényének elmélete" in *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1982. 345–57. o.)

Planck (1929): "Zwanzig Jahre Arbeit am Physikalischen Weltbild", *Physica*, **9**, 193–222. (Magyarul: "Az új fizika világképe" in *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1982. 83–113. o.)

Planck (1948): *Scientific Autobiography*, német posztumusz kiadás: 1948, angol fordítása: 1950. (Magyarul: "Tudományos önéletrajz" in *Válogatott tanulmányok*, Budapest: Gondolat, 1982. 43–65. o.)

Poincaré (1902): *La Science et l'Hypothèse*, 1902. (Magyarul: *Tudomány és föltevés*, Budapest: Magyar Királyi Természettudományi Társulat, 1908.)

Popper (1934): *Logik der Forschung*, 1935. (Magyarul: *A tudományos kutatás logikája*, Budapest: Európa, 1997.)

Popper (1940): "What is Dialectic?", *Mind*, N.S. **49**, 403–26.

Popper (1960): "Philosophy and Physics"; published in *Atti del XII Congresso Internazionale di Filosofia*, Vol. **2**, 1960, 363-74.

Popper (1967): "Quantum Mechanics without »The Observer«" in M. Bunge (ed.): *Quantum Theory*

and Reality, Berlin: Springer.

Popper (1969): "A Realist View of Logic, Physics and History", in Yourgrau and Breck (eds.): *Physics, Logic and History*, New York and London: Plenum Press.

Power (1964): *Introductory Quantum Electrodynamics*, London: Longmans.

Prout (1815) "On the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of their Atoms", *Annals of Philosophy*, **6**, 321–30; újranyomva in *Prout's Hypothesis*, Alembic Club Reprints, **20**, 1932.

Reichenbach (1951): *The Rise of Scientific Philosophy*, Los Angeles: University of California Press.

Rutherford, Chadwick and Ellis (1930): *Radiations from Radioactive Substances*, Cambridge University Press.

Schrödinger (1958): "Might perhaps Energy be merely a Statistical Concept?", *Il Nouvo Cimento*, **9**, 162–70.

Soddy (1932): *The Interpretation of the Atom*, London: Ruway.

Sommerfeld (1916): "Zur Quantentheorie der Spektrallinien", *Annalen der Physik*, **51**, 1–94. and 125–67.

Ter Haar (1967): *The Old Quantum Theory*, Oxford: Pergamon.

Truesdell (1960): "The Program toward Rediscovering the Rational Mechanics in the Age of Reason", *Archive of the History of Exact Sciences*, **1**, 3–36.

Uhlenbeck and Goudsmit (1925): "Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Electrons", *Die Naturwissenschaften*, **13**, 953–4.

van der Waerden (1967): *Sources of Quantum Mechanics*, Amsterdam: North-Holland.

Watkins (1958): "Influential and Confirmable Metaphysics", *Mind*, N. S. **67**, 344–65.

Whewell (1837): *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*. Three volumes.

Whewell (1840): *Philosophy of the Inductive Sciences, Founded upon their History*. Two volumes.

Whewell (1851) "On the Transformation of Hypotheses in the History of Science", *Cambridge Philosophica Transactions*, **9**, 139–47.

Whewell (1858) *Novum Organon Renovatum*. Being the second part of the philosophy of the inductive sciences. Third edition.

Whewell (1860): *On the Philosophy of Discovery, Chapters Historical and Critical*.

Whittaker (1953): *History of the Theories of Aether and Electricity*, Vol. II.

Wisdom (1963): "The Refutability of »Irrefutable«Laws", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **13**, 303–6.

(Fordította Ambrus Gergely)

JEGYZETEK

* "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", in I. Lakatos and A. Musgrave (eds.): *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, 1970. 91–196. o. Az általunk közölt részlet a 132–159. oldalakon található.

1. Meg lehet mutatni, hogy a pozitív és negatív heurisztika hozzátvetőleges (implicit) definícióját adja a "fogalmi keretnek" (és következésképpen a nyelvnek). Ezért az a felismerés, hogy a tudomány története inkább a kutatási programok története, mintsem az elméleteké, annak a nézetnek a részleges

győzelmeként fogható fel, amely szerint a tudomány története a fogalmi kereteinek vagy a tudományos nyelvek története.

2. Popper (1934) 11. és 70. szakasz. A "metafizikai" szót a naiv falszifikacionizmus technikai kifejezéseként használom: egy kontingens kijelentés akkor "metafizikai", ha nincsenek "lehetséges falszifikálói".

3. Watkins (1958). Watkins felhívja a figyelmet arra, hogy "a kijelentések és előírások logikai különbsége a metafizikai-metodológiai területen jól megmutatkozik abban, hogy az ember elutasíthatja egy [metafizikai] tanítás ténykijelentés formáját, miközben előírás formáját elfogadja." (356–7. o.)

4. Ehhez a kartézianus kutatási programhoz lásd Popper (1958) és Watkins (1958) 350–51.o.

5. Az "ellenpélda" és az "anomália" fogalmának tisztázásához lásd jelen írás 110. o. és különösen 159. o. 1. lábjegyzet. [A jelen fordítás 95. jegyzete]

6. Laplace (1796) IV. könyv, ii. fejezet.

7. Egy program valódi kemény magja nem teljes vértetében jelenik meg a színen, ahogy Pallasz Athéné pattant ki Zeusz fejéből. Lassan fejlődik ki, hosszú, "próba és tévedés" folyamat eredményeként. E tanulmányban ezt a folyamatot nem tárgyaljuk.

8. Vö. jelen írás, 1001. o.

[A történet egy bolygó rendhagyó viselkedéséről szól. Egy Einstein előtti fizikus veszi a newtoni mechanikát, a gravitáció törvényét (N), az elfogadott K kezdeti feltételeket, és segítségével kiszámítja egy újonnan felfedezett kis b bolygó pályáját. A bolygó azonban eltér a kiszámolt pályától. Úgy gondolja-e newtoniánus fizikusunk, hogy Newton elmélete megtiltja az eltérést, s ha egyszer az megalapozást nyert, akkor megcáfolja N -t? Nem. Azt állítja, hogy lennie kell egy mindeddig ismeretlen b' bolygónak, amely megzavarja b pályáját. Kiszámítja e feltételezett bolygó tömegét, pályáját stb., s megkér egy kísérleti csillagászt, hogy ellenőrizze hipotézisét. De a b' bolygó olyan parányi, hogy még a legnagyobb létező teleszkóppal sem lehet megfigyelni. Ezért a kísérleti csillagász kutatási támogatásra pályázik, hogy építsen egy nagyobbat. Három év múlva elkészül az új teleszkóp. Ha felfedeznék az ismeretlen b' bolygót, azt a newtoniánus tudomány újabb nagy győzelmeként ünnepelnék. De nem fedezik fel. Feladja hát tudósunk a newtoni elméletet és a zavaró bolygóra vonatkozó elgondolását? Nem. Azt állítja, hogy a bolygót kozmikus porfelhő takarja el. Kiszámítja a felhő helyét és tulajdonságait, s kutatási támogatást kér egy műhold felküldésére, hogy ellenőrizze számításait. Amennyiben a műhold műszerei (melyek feltehetően újak, és egy kevésbé ellenőrzött elméleten alapulnak) kimutatnák a feltételezett felhőt, ezt a newtoniánus tudomány kiemelkedő győzelmeként ünnepelnék. De a felhőt nem találják. Feladja hát tudósunk a newtoni elméletet és a zavaró bolygóra valamint az azt eltakaró felhőre vonatkozó elgondolását? Nem. Azt állítja, hogy a világegyetem azon régiójában mágneses erőtér található, amely megzavarta a műhold műszereit. Egy új műholdat küldenek fel. Ha megtalálnák a mágneses erőteret, azt a newtoniánusok szenzációs győzelemként ünnepelnék. De nem találják. Megcáfolja ez a newtoniánus tudományt? Nem. Vagy egy újabb ötletes segédhipotézist javasolnak, vagy ... az egész történetet poros folyóirat-kötetekbe temetik, hogy aztán soha többé ne említsék.]

9. A "cáfolatot" minden esetben sikerült "rejtett lemmákká" alakítani, azaz olyan lemmákká, amelyek korábban megbújtak a ceteris paribus feltételezésben.

10. De vö. a jelen írás (d) szakaszának első felében írottakkal.

11. Jelen írás, 105. o.

12. Uo.

13. Amennyiben a természettudós (vagy matematikus) rendelkezik pozitív heurisztikával, akkor elutasítja a megfigyelésekkel való foglalkozást. "Ledől az ágyra, behunyja szemét, és megfedezkedik az adatokról" (Vö. Lakatos (1963-4) különösen a 300. o. 2. bek. ahol egy ilyen programot leíró részletes esettanulmány olvasható. (Magyar kiadás: 109. sk. o.)) Olykor persze feltesz a Természetnek valamilyen ravasz kérdést: s biztatásnak veszi, ha a Természet Igennel válaszol, de a Nem választól sem bátortalanodik el.

14. Reichenbach, Cajori-t követve, más magyarázatot ad arra, hogy mi késleltette Newtont a *Principia* kiadásában. "Newton, csalódására, azt tapasztalta, hogy a megfigyelési eredmények nem egyeznek számításaival. Ahelyett, hogy elméletét, lett légyen bármily szép is, a tények elébe helyezte volna, inkább fiókba zárta a kéziratot. Mintegy húsz évvel később, amikor egy francia expedíció új méréseket végzett a Föld kerületére vonatkozóan, Newton észrevette, hogy azok az értékek, amelyekre elméletét alapozta, tévesek voltak, és a javított értékek összhangban voltak elméleti számításaival. Csak ezután az ellenőrzés után publikálta törvényét... Newton története az egyik legegységesebb illusztrációja a modern tudomány módszerének." (Reichenbach (1951) 101–2. o.) Feyerabend bírálja Reichenbach felfogását (Feyerabend (1965)), de nem ad semmilyen alternatív *magyarázatot*.

15. Ezzel kapcsolatban lásd Truesdell (1960).

16. Soddy hozzájárulása Prout programjához, illetve Pauli hozzájárulása Bohréhoz tipikus példák az ilyen kreatív változásokra.

17. A "verifikáció" a terjeszkedő program többlettartalmának korroborációja. De persze a "verifikáció" nem *verifikál* egy programot: csupán heurisztikus erejét mutatja meg.

18. Vö. Lakatos (1963–4) 324–30. o. (Magyar kiadás: 139–147. o.) Sajnos az (1963–4)-es szövegben még nem tisztáztam az elméletek és a kutatási programok különbségét, és ez hátráltatott az informális, kvázi-empirikus matematikai kutatási program részletes tárgyalásában.

19. Vö. 175. o.

20. Lásd e mű 128–9. o.

21. Sajnos, ez inkább racionális rekonstrukció, és nem a tényleges történelem. Prout tagadta, hogy anomáliák léteznének. Például azt állította, hogy a klór atomsúlya pontosan 36.

22. Prout tudatában volt programja bizonyos módszertani vonásainak. Hadd idézzük az első sorokat 1815-ös írásából: "E tanulmány írója a legnagyobb bizonytalanságok közepette nyújtja át művét az olvasóknak... Azonban abban bízunk, hogy a mű fontosságát látni fogják, és hogy lesz valaki, aki megvizsgálja azt, és ezáltal igazolja vagy megcáfolja konklúzióit. Még ha ezek a konklúziók tévesnek bizonyulnának is, a kutatás akkor is újabb tényeket hozhat napvilágra és jobban megalapozhatja a régieket; ha azonban beigazolódnának, akkor a kémia egész tudománya új, érdekes színben tűnne fel."

23. Clerk Maxwell Stas oldalán állt: lehetetlennek vélte, hogy két különböző fajta hidrogén legyen, "mivel ha néhány [molekula] kissé nagyobb tömeggel rendelkezne mint a többiek, akkor lennének eszközeink az eltérő tömegű molekulák szétválasztására; egyesek sűrűsége kissé nagyobb lenne a többiekénél. Miután ez nem áll fenn, el kell ismernünk, [hogy mind ugyanolyanok]. (Maxwell (1871)).

24. Marignac (1860)

25. Crookes (1886)

26. Uo.
27. Crookes (1886), 491. o.
28. A "fogalomtágitásról" lásd Lakatos (1963–4) IV. rész. (Magyarul: 104–156. o.)
29. Ezt a fordulatot Crookes (1888) már megelőlegezi, ahol arra utal, hogy a megoldást a "fizikai" és a "kémiai" közötti új határvonal meghúzásával kellene keresni. Ez az anticipáció azonban pusztán filozófiai maradt; és Rutherfordra valamint Soddyra várt, hogy – 1910 után – tudományos elméletté fejlesszék.
30. Soddy (1932), 50. o.
31. Uo.
32. Vitathatatlan, hogy ezek az akadályok sok tudóst arra ösztönöznek, hogy félretegyék, vagy teljes egészében elvessék a programot, és olyan más kutatási programokhoz csatlakozzanak, amelyek pozitív heurisztikája könnyebb sikerekkel kecsegtet: a tudomány története nem érhető meg *teljesen* a tömegpszichológia nélkül. (Vö. lejjebb 177–80.)
33. Ez a szakasz ismét inkább karikatúrának, mint vázlatnak tűnhet a történészek szemében, azonban remélem, hogy a célnak megfelel. (Vö. a (c) szakasz elején tett megjegyzésünkkel). Egyes állításokat nem csak egy csipetnyi, hanem több tonna sóval kell fogyasztani.
34. Ez persze egy további érv J. O. Wisdom tételével szemben, aki szerint a metafizikai elméletek megcáfolhatók a nekik ellentmondó, jól korroborált tudományos elméletekkel (Wisdom 1963). Lásd még e mű 112. o. 1. lábjegyzet és 126–7. o.
35. Bohr (1913a), 874. o.
36. Bohr ebben az időben úgy gondolta, hogy a Maxwell-Lorentz elméletet végül majd fel kell váltani egy másik elmélettel. (Einstein fotonelmélete már jelezte ennek szükségességét.)
37. Hevesy (1913): vö. e mű 136. o. 1. [a jelen fordításban 13.] lábjegyzetéhez tartozó főszöveggel.
38. Saját metodológiánk szerint nincs szükség ilyen *ad hoc* hadicselekre. Másfelől azonban ezek csak addig ártalmatlanok, amíg egyértelmű, hogy problémáknak és nem megoldásoknak tekintik őket.
39. Bohr (1922); az én kiemelésem.
40. Margenau (1950) 311. o.
41. Sommerfeld inkább figyelmen kívül hagyta, mint Bohr: vö. e mű 150. o. 4. [a jelen fordításban 71.] lábjegyzet.
42. Bohr (1949) 206. o.
43. Schrödinger idézi: Schrödinger (1958) 170. o.
44. Két állítás inkonzisztens, ha konjunkciójuknak nincsen modellje, azaz, ha deskriptív terminusaiknak nincs olyan interpretációja, amelyre a konjunkció igaz. Azonban az informális diskurzusban nem csak a formális kifejezéseknek, de egyes deskriptív kifejezéseknek is rögzítjük az interpretációját. Ebben az informális értelemben két állítás (gyengén) inkonzisztens lehet bizonyos

karakterisztikus kifejezések standard interpretációja mellett akkor is, ha formálisan, azaz valamilyen, a szándékoltól eltérő interpretáció mellett, esetleg konzisztensek. Például az elektron spinjére vonatkozó első elméletek inkonzisztensek voltak a speciális relativitáselmélettel, ha a "spin" ("erős") standard interpretációját tekintjük, és ezáltal rögzített interpretációjú kifejezésként kezeljük; az inkonzisztencia azonban eltűnik, amennyiben a "spin"-t nem interpretált, deskriptív kifejezésként kezeljük. A standard interpretációkat azért nem szabad túl gyorsan feladni, mert a jelentések ilyenfajta elszegényítése a program pozitív heurisztikáját is elszegényítheti. (Másképp az ilyen jelentésváltozások bizonyos esetekben progresszívek is lehetnek: vö. e mű 126. o.)

A rögzített interpretációjú és leíró kifejezések közötti demarkáció megváltozásáról az informális diskurzusokban lásd Lakatos (1963–64), 9b, különösen a 335. o. 1. lábjegyzetét. (Magyarul: 153–156. o. különösen 154. o. 2. lábjegyzet)

45. Bohr (1922), utolsó bekezdés.

46. A naiv falszifikacionisták ezt a liberalizmust hajlamosak az *értelem elleni bűnként* felfogni. Legfőbb érvük a következő: "ha elfogadnánk az ellentmondásokat, akkor fel kell adnunk mindenfajta tudományos tevékenységet: ez a tudomány teljes felszámolását jelentené. Ez belátható annak a bizonyításával, hogy *ha két egymásnak ellentmondó állítást elfogadunk, akkor tetszőleges állítást el kell fogadnunk*; hiszen ellentmondó állításokból bármilyen állítás érvényesen következik. Ezért egy olyan elmélet, amely ellentmondást tartalmaz, *elméletként* tökéletesen használhatatlan." Popper (1940). A méltányosság kedvéért hangsúlyoznunk kell, hogy Popper ezen a helyen a hegeli dialektika ellen érvel, amelyben az inkonzisztencia *erénnyé* válik: és tökéletesen igaza van, amikor rámutat ennek a veszélyeire. Azonban Popper soha sem elemezte az inkonzisztens alapokon nyugvó empirikus (vagy nem-empirikus) fejlődés sémáit; (1934)-es művének 24. szakaszában a konzisztenciát és a falszifikálhatóságot az elméletek tudományosságának feltétlenül szükséges követelményévé tette. E probléma részletesebb tárgyalásához lásd Lakatos (1974c).

47. Vö. pl. Kramers (1923)

48. Bohr (1923)

49. Born (1954) olyan plasztikus leírást adott a korrespondencia elvről, amely erősen alátámasztja ezt a kettős értékelést: "A helyes formulák kitalálásának művészete, amelyek eltérnek a klasszikus formuláktól, de ugyanakkor határesetként tartalmazzák őket... a tökéletesség magas fokát érte el."

50. A kudarcok hosszú sorozatának lenyűgöző történetéhez lásd Whittaker (1953) 103–4. o. Planck maga is drámaian írja le ezeket az éveket: "Jópár évig hiábavaló kísérleteket folytattam, hogy az elemi hatáskvantumot beilleszsem a klasszikus elméletbe, és ez igen nagy erőfeszítembe került. Számos kollégám majdhogynem tragikusnak látta ezeket az eseményeket ..." Planck (1947).

51. Természetesen egy redukcionista program csupán akkor tudományos, ha többet magyaráz meg, mint aminek a megmagyarázását célul tűzte ki: másképpen a redukció *nem* tudományos redukció (vö. Popper (1969)). Ha a redukció nem eredményez új empirikus tartalmat, új tényekről nem is szólva, akkor a redukció degenerálódó probléma-eltolódást képvisel és pusztán nyelvi játék. A kartézianusok erőfeszítései metafizikájuk alátámasztására annak érdekében, hogy képesek legyenek a newtoni gravitációt e metafizika kereteiben értelmezni, kiemelkedő példája az ilyen, pusztán nyelvi redukciónak. (Vö. e mű 126. o. 2. lábjegyzet)

52. Einstein (1928). A koppenhágai "anarchizmus" bírálói között meg kell említenünk – Einstein mellett – Poppert, Landét, Schrödingert, Margenaut, Blohincevet, Bohmot, Fényest és Jánossyt. A koppenhágai értelmezés védelméhez lásd Heisenberg (1955)-öt; Popper (1967) a közelmúltban erőteljes bírálatot fogalmazott meg. Feyerabend (1968-9) kihasználja Bohr álláspontjának bizonyos inkonzisztenciáit és ingadozásait Bohr filozófiájának hozzávetőleges, apologetikus cáfolatához.

Feyerabend tévesen mutatja be Popper, Landé és Margenau kritikus álláspontját Bohrral szemben, nem hangsúlyozza eléggé Einstein ellenállását, és úgy tűnik, tökéletesen elfelejtette, hogy korábbi írásaiban ebben a kérdésben popperianusabb volt Poppnernél.

53. Power (1964). 31. o. (az én kiemelésem). A "*teljesen*"-t itt szó szerint kell érteni. Mint ahogy a *Nature*-ben olvassuk (222, 1969, 1034–5.) "Abszurd feltételezés, hogy a [kvantum] elmélet bármelyik alapvető eleme téves lehet ... Az érvek, miszerint a *tudományos* eredmények mindig ideiglenesek, nem tarthatók. Ami ideiglenes, az a *filozófusok* elképzelése a modern fizikáról, ugyanis még nem ismerték fel, hogy a kvantumfizika felfedezései milyen alapvetően befolyásolják az ismeretelmélet egészét ... Azt az állítást, hogy a hétköznapi nyelv a fizikai leírás egyértelműségének végső forrása, a legmeggyőzőbben a kvantumfizika megfigyelési feltételei igazolják".

54. Ez racionális rekonstrukció. Valójában Bohr ezt az elképzelést csak (1926)-os írásában fogadta el.

55. Túl ezen az analógián, Bohr pozitív heurisztikájának volt egy másik alapvető gondolata, nevezetesen a "korrespondencia elv". Ez már 1913-ban felmerült (vö. öt posztulátuma közül a másodikkal, melyet pár oldallal ezelőtt idéztünk), azonban csak később fejlesztette tovább, amikor vezérelvként alkalmazta későbbi finomabb modelljei bizonyos problémáinak megoldásában (például a polarizációs állapotoknál és intenzitásoknál). Pozitív heurisztikája e második elemének az volt a különlegessége, hogy Bohr nem hitt metafizikai verziójában; ideiglenes szabálynak tekintette, amely a klasszikus elektromágnesesség (és esetleg a mechanika) leváltásáig marad hatályban.

56. Davisson (1937). MacLaurin hasonló eufóriát tapasztalt 1748-ban Newton programjával kapcsolatban: Newton "filozófiája, mivel kísérleteken és bizonyításokon alapul, nem tévedhet mindaddig, amíg az ész, vagy a dolgok természete meg nem változik meg ... (Newton) alig hagyott több feladatot az utókorra, mint az égbolt megfigyelését és a számolást modelljei szerint." MacLaurin (1748. (8. o.))

57. A "naiv feltevést" itt technikai kifejezésként alkalmazom, abban az értelemben, mint Lakatos (1963–4)-ben. A (természet vagy a matematikai) tudományok "induktív alapjáról" szóló mítosz részletes bírálatához és egy esettanulmányhoz lásd uo. 7. szakasz, különösen 298–307. o. (Magyarul: 106–116. o.) Ott megmutatom, hogy Descartes és Euler "naiv feltevése", miszerint minden poliéderre $C - E + L = 2$, irreleváns és felesleges volt a későbbi fejlemények szempontjából; további példa gyanánt megemlítem, hogy Boyle és követőinek munkája a $pV = RT$ összefüggés megalapozására irreleváns volt a későbbi elméleti fejlődés szempontjából (eltekintve bizonyos kísérleti technikák kifejlesztésére vonatkozó hatását), ahogy Kepler három törvénye is felesleges volt a newtoni gravitációs elmélet szempontjából.

Ennek a kérdésnek a további tárgyalásához lásd még e mű 175. o.

58. Vö. Jammer (1966) 77. o. 2. bek.

59. Fowler (1912). Fowler "megfigyelési" elméletét véletlenül "Rydberg elméleti kutatásai" biztosították, amelyekre "szigorú kísérleti bizonyítékok hiányában úgy tekintett, mint (kísérleti) eredményeinek igazolására" (65. o.) Elméleti fizikus kollégája, Nicholson professzor azonban három hónappal később úgy utalt Fowler eredményeire, mint "Rydberg elméleti dedukciójának laboratóriumi konfirmációjára" (Nicholson (1913)). Ez a kis történet azt hiszem, alátámasztja kedvenc tézisemet, amely szerint a legtöbb tudós alig tud többet a tudományról, mint a halak a hidrodinamikáról.

A Királyi Csillagászati Társaság 93. Éves Közgyűlésének Tanácsa által készített jelentése szerint Fowler "laboratóriumi kísérletek során végzett megfigyelése" az új "hidrogénvonalakra vonatkozóan, amelyekkel kapcsolatban a fizikusok korábbi erőfeszítései nem jártak sikerrel", "nagy jelentőségű előrelépés" és a "jól-irányzott kísérleti munka diadala".

60. Bohr (1913b)
61. Evans (1913). Hasonló példa arra, hogy egy elméleti fizikus hogyan tanította meg a cáfolatára büszke kísérleti fizikust arra, hogy valójában mit is észlelt: lásd e mű 130. o. 5. lábjegyzet.
62. Torzszülött-kiigazítás: egy ellenpélda példává változtatása, valamilyen új elmélet révén. Vö. Lakatos (1963–4) 127. o. (Magyarul: 55. sk. o.) Bohr "torzszülött-kiigazítás"-a azonban empirikusan "progresszív" volt: megjósolt egy új tényt (a 4686-os vonal megjelenését az olyan csövekben, amelyek nem tartalmaznak hidrogént.)
63. Fowler (1913a)
64. Bohr (1913c). Ez a torzszülött-kiigazítás szintén "progresszív" volt: Bohr azt jósolta, hogy Fowler megfigyelései kissé pontatlanok, és hogy a Rydberg "konstans"-nak van valamilyen finomszerkezete.
65. Fowler (1913b). Fowler azonban szkeptikusan megjegyezte, hogy Bohr programja még nem magyarázta meg az *ionizálatlan*, közönséges hélium spektrumvonalait. Mindazonáltal hamarosan feladta szkeptikus álláspontját, és csatlakozott Bohr kutatási programjához. (Fowler (1914)).
66. Vö. Hevesy (1913): "Amikor beszámoltam neki a Fowler spektrumról, Einstein nagy szemei még jobban kikerekedtek és azt mondta: »Akkor ez egyike a legnagyobb felfedezéseknek«."
67. A kutatási programok alapvető matematikai aspektusaihoz lásd a megjegyzést nem sokkal a (c) szakasz kezdete előtt.
68. Michelson (1891–2), különösen 287–9. Michelson meg sem említi Balmert.
69. Moseley (1914)
70. Sommerfeld (1916) 68. o.
71. Hund (1961). Feyerabend (1968–9) 83–7. o. kissé bővebben tárgyalja ezt. Azonban Feyerabend írása erősen elfogult. Cikkének legfőbb célja, hogy csökkentse Bohr módszertani anarchizmusának jelentőségét, és annak megmutatása, hogy Bohr *ellenezte* az új (1925 utáni) kvantumprogram koppenhágai értelmezését. Ennek érdekében Feyerabend egyfelől túlhangsúlyozza Bohr elégedetlenségét azzal, hogy a *régi* (1925 előtti) kvantumprogram inkonzisztens volt, másfelől pedig túl sokat facsar ki abból a tényből, hogy Sommerfeld kevésbé törődött a *régi* program ellentmondásos alapjainak problematikusságával, mint Bohr.
72. Born (1948) 180. o. – kiemelés tőlem.
73. Az első három sémába nem veszünk bele olyan bonyodalmakat, mint a sikeres fellebbezések a kísérleti tudósok döntéseivel szemben.
74. Ez azt mutatja, hogy ha pontosan ugyanazokat az elméleteket és bizonyítékokat más időrend alapján rekonstruáljuk racionálisan, progresszív és degenerálódó probléma-eltolódást egyaránt alkothatnak. Vö. még Lakatos (1968a) 387. o.
75. McCulloch (1825) 21. o. Egy amellet szóló erős érvét, hogy milyen rendkívül valószínűtlen egy ilyen séma, lásd a (d) szakasz közepét.
76. Talán meg kellene említeni, hogy a mániákus adatgyűjtés – és a "túl nagy" pontosság meghiúsítja – még az olyan naiv "empirikus" hipotézisek megalkotását is, mint Balmeré. Ha Balmer ismerte volna

Michelson finom-spektrumát, vajon valaha is kitalálta volna formuláját? Vagy, ha Tycho Brache adatai pontosabbak lettek volna, vajon valaha is felmerültek volna Kepler elliptikus törvényei? Ugyanez érvényes az általános gáztörvény naiv, első változatára, és így tovább. A poliéderekre vonatkozó Descartes-Euler tételt talán soha sem fogalmazták volna meg, ha nem lettek volna híján az adatoknak; vö. Lakatos (1963–4), 298. o. 2. bek. (Magyarul: 106–7. o.)

77. "Bohr nagy trilógiájának megjelenése és a hullámmechanika színrelépése (1925) között igen sok tanulmány jelent meg, amelyek Bohr gondolatait az atomi jelenségek lenyűgöző elméletévé fejlesztették. Ez közös vállalkozás volt, és a résztvevő fizikusok névsora igen lenyűgöző: Bohr, Born, Klein, Rosseland, Kramers, Pauli, Sommerfeld, Planck, Einstein, Ehrenfest, Epstein, Debye, Schwarzschild, Wilson." Ter Haar (1967) 43. o.

78. Tanulmányuk egyik lábjegyzete szerint: "Vegyük észre, hogy (elméletünk szerint) az elektron kerületi sebessége jelentősen meghaladná a fénysebességet" Uhlenbeck és Goudsmit (1925)

79. Jammer (1966) 146–8. és 151. o.

80. A Bohr programnak erről a degenerálódó fázisáról plasztikus leírást ad Margenau (1950) 311–3. o.

Egy program progresszív fázisában a legfőbb heurisztikus ösztönző a pozitív heurisztikából származik: az anomáliákat nagyrészt figyelmen kívül hagyják. A degenerálódó szakaszban a program heurisztikus ereje kimerül. Rivális program hiányában ez a szituáció talán az anomáliák iránti szokatlan hiperérzékenységgént jelenik meg a tudósok lelki világában, olyan érzésként, amit Kuhn "válságnak" nevez.

81. Bizonyára ez irritálta a legjobban Newtont a kartézianus "elméletek szkeptikus elszaporodásában".

82. Mindazonáltal szól valami amellett is, hogy legalábbis *néhány* ember ragaszkodik egy kutatási programhoz egészen annak "kimerülési pontjáig"; ilyen esetben az új programnak el kell számolnia a régi program minden sikerével. Ez ellen a követelmény ellen nem érv, hogy esetleg a rivális program, első formájában, az első program minden akkori sikerét megmagyarázta; a kutatási programok fejlődése ugyanis nem jósolható meg és így lehetséges, hogy a későbbiekben fontos segédelméletek kidolgozását segítik elő. Ezenkívül, ha egy P_1 kutatási program A_n változata matematikailag ekvivalens egy rivális P_2 program A_m változatával, akkor mindkettőt fejleszteni kell: heurisztikus erejük ugyanis igen eltérő lehet.

83. A "*heurisztikus erő*"-t itt szakszóként használom, amely azt fejezi ki, hogy a kutatási program milyen mértékben képes új tények megjóslására. Használhatnám persze a "*magyarázó erő*" kifejezést is: vö. e mű. 119. o. 1. lábjegyzet.

84. Vö. e mű 116. o. 2. lábjegyzethez tartozó szöveg. és 134. o. 3. lábjegyzethez tartozó szöveg.

85. Vö. e mű (c2) szakasz.

86. Vö. e mű 111. o. 6. lábjegyzet

87. Poppernek van egy rendkívül fontos érve: "Egy általános hiedelem szerint a »Látom, hogy ez az asztal fehér« állításnak az ismeretelmélet szempontjából van valami mélységes előnye az »Ez az asztal fehér« állítással szemben. De lehetséges objektív ellenőrzéseinek értékelése szempontjából az első állítás, amelyik rólam szól, nem tűnik biztosabbnak, mint a második, amelyik az itt lévő asztról szól." (1934) 27. szakasz. (Magyarul: 128. o.). Neurath jellegzetesen ostoba megjegyzést fűz ehhez a szövegrészhez: "Az ilyen protokolltételnek az az előnyük, hogy *nagyobb a stabilitásuk*. Azt az

állítás, hogy »A 16. században az emberek tüzes kardokat láttak az égen« elfogadhatjuk úgy, hogy közben elvetjük, hogy »A 16. században tüzes kardok voltak az égen«. (Neurath (1935) 362. o.)

88. *Ez a megjegyzés véletlenül meghatároz egyfajta "korroborációs mértéket" a kutatási programok "megcáfolhatatlan" kemény magjára nézve. Newton elméletének (önmagában) nem volt empirikus tartalma, ennek ellenére azonban, ebben az értelemben, erősen korroborált volt.*

89. A kutatási programok metodológiájában történetesen a (kutatási program) "elutasításának" pragmatikus jelentése kristálytiszttá válik: ama döntést jelenti, hogy *felhagynak a kutatási programon való munkával.*

90. Egyesek a fejlődésnek ezt a védett időszakát – óvatosan – "*tudományelőttinek*" (vagy "elméletinek") tekintnék; és csupán akkor lennének hajlandók elismerni igazi *tudományos* (vagy "empirikus") jellegét, amikor "eredeti, új" tényeket produkál – ez esetben azonban az elismerésnek visszamenőleges érvényűnek kell lennie.

91. Mellékesen, *a fallibilitás és a kritizmus e konfliktusát joggal tekinthetjük a Popper-féle ismeretelméleti kutatási program fő problémájának – és hajtóerejének.*

92. Az ilyen verseny különösen érdekes esete a *kompetitív szimbiózis*, amikor egy új programot egy olyan régi programhoz toldanak, amely inkonzisztens vele; lásd a Bohr programjáról írtakat.

93. Nem létezik *természetes* "kimerülési pont"; (1963–4)-es írásomban, különösen annak 327-8. oldalán (Magyarul: 143–145. o.) hegelianusabb állásponton voltam, és azt hittem, van ilyen. Az emberi képzelőerőnek azonban nincsenek előrejelezhető vagy meghatározható korlátai arra nézve, hogy milyen új és tartalomnövelő elméleteket képes kitalálni, vagy hogy az "ész csele" (*List der Vernunft*) milyen empirikus sikerrel jutalmazza ezeket, még akkor is, ha az új elméletek hamisak, vagy ha kevésbé valószínűek – popperi értelemben – a régieknél. (Valószínűleg minden tudományos elmélet, amelyet valaha is leírnak, tévesnek bizonyul majd: empirikus sikereik azonban ekkor is elismerhetők lesznek, sőt valószínűségük is növekedhet.)

94. Lásd pl. e mű 126. o. 2. lábjegyzet.

95. *Ekképpen egy kutatási programbeli anomália olyan jelenség, amelyre úgy tekintünk, mint amit a program kereteiben kell megmagyarázni. Általánosabban, Kuhn nyomán, "rejtvényekről" beszélhetünk: egy kutatási programbeli "rejtvény" olyasvalami, amit az illető programmal szembeni kihívásként értelmezünk. Egy "rejtvényt" háromféleképpen oldhatunk meg: megoldhatjuk az eredeti programon belül (ekkor az anomália példává alakul át); semlegesíthetjük, például megoldhatjuk egy másik, független programmal (az anomália megszűnik); végül pedig megoldhatjuk egy rivális program keretében (az anomália ellenpéldává alakul át).*