

Max Planck és a tudományos realizmus
Episztemikus előnyök meglétének vizsgálata Max Planck
kvantumelméletében

Jelige:

TMG 026

Tartalomjegyzék

1.	Renitens tudás	5
1.1	A tudásról	5
1.1.1	A tudás klasszikus alkotórészei	5
1.1.2	A Gettier probléma	6
1.1.3	Radikális szkepticizmus.....	8
1.1.4	A tudomány és a tudás kapcsolata	10
2.	A tudományos realizmus tárgyalása	13
2.1	Két fajta realizmus	14
2.2	A realizmus összetevőkre bontása	15
2.3	Álláspontok és korlátok.....	16
2.3.1	Instrumentalizmus.....	16
2.3.2	Konstruktív empirizmus	19
2.3.3	Tudományos realizmus alternatív megfogalmazása	21
3.	Episztemológiai előnyök tárgyalása.....	25
3.1	Kritériumok	25
3.1.1	Pontosság	25
3.1.2	Következetesség vagy konzisztencia	25
3.1.3	Átfogó kiterjedés.....	26
3.1.4	Egyszerűség	26
3.1.5	Eredményesség	27
3.2	Következtetés	27
4.	Esettanulmány: a Planck-állandó és a realizmus	28
4.1	Történeti áttekintés.....	28
4.2	Episztemikus előnyök meglétének vizsgálata	32
4.2.1	Pontosság	32
4.2.2	Következetesség vagy konzisztencia	33
4.2.3	Átfogó kiterjedés.....	33
4.2.4	Egyszerűség	34
4.2.5	Eredményesség	34
5.	Összegzés	36
6.	Irodalomjegyzék.....	38
7.	Internetes források.....	38
8.	Ábrajegyzék	38
9.	Képletjegyzék.....	39

Bevezetés

Leendő mérnökként arra a kérdésre keresem a választ, hogy a sok tudományfilozófiai elmélet közül melyik az, amelyik a legjobban írja le a tudományt. Dolgozatomban a tudományos realizmus témakörét járrom körül.

Először azzal a kérdéssel foglalkozom, hogy mit is nevezhetünk tudásnak, majd meg kívánom mutatni, hogy az egyén számára a tudás megszerzése a tudomány által a legbiztosabb. Ezt követően ismertetem és összehasonlítom a tudományos realizmussal kapcsolatos álláspontokat. Bemutatom az elméletekre és az entitásokra vonatkozó realizmust, az instrumentalizmust és a konstruktív empirizmust, mint lehetséges utakat, melyek alapján eldönthetjük a jó tudományos elmélet kritériumait.

Az álláspontom az, hogy egy tudományos elmélet episztemikus előnyei csakis a tudományos realizmus szemüvegén keresztül válnak teljessé.

A tudományos realizmus episztemikus előnyeit egy esettanulmány segítségével támasztom alá. Max Planck munkássága megmutatja számunkra az elméletekre vonatkozó tudományos realizmus álláspontjának létjogosultságát. Max Planck a hatáskvantum felfedezésével megalapozta a kvantummechanikát, amely a XX. század egyik legnagyobb és legsikeresebb szellemi alkotásának bizonyult. Mint minden nagy tudományos felfedezés, a hatáskvantum karrierje sem volt zökkenőmentes: megszületésekor pusztán egy illesztési paraméter volt. Később azonban, pontosan Planck ez irányú fáradozásai eredményeképpen, ez a paraméter új természeti állandóvá vált, amely megjelenik az elméleti modelljeinkben, ha azok atomi szinten lezajló kvantum jelenségeket írnak le.

Abstract

As a future engineer, I am looking for answers as to which theory relating to the philosophy of science can be best applied to science. In my paper I will canvass the topic of scientific realism.

First I will deal with the question of what we can call knowledge, then I intend to show that for an individual the best way for acquiring knowledge is through science. Then I discuss and compare the standpoints regarding scientific realism. I will outline realism about theories and entities, instrumentalism and constructive empiricism as possible paths, all from which one can decide, what are the criteria for good scientific theory.

My position is that a good scientific theory's epistemic advantages can become more complete only through the lens of scientific realism.

The epistemic benefits will be demonstrated through a case study. Max Planck's work shows the legitimacy of the position of scientific realism. With the discovery of the Planck constant, Max Planck laid the foundation of quantum mechanics, which proved to be the largest and most successful intellectual achievement of the 20th century. Like all great scientific discoveries, the career of the Planck constant has not been smooth: at its discovery it was merely a fitting parameter, later, due to Planck's efforts in this direction, it was realised that it is a new natural constant, which appears in the theoretical models if the phenomena is taking place on an atomic level.

1. Renitens tudás

1.1 A tudásról

Manapság egy, az egyén számára hozzáférhető információban rendkívül gazdag világban élünk. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint az, hogy e téma tárgyalásához a Stanford Encyclopedia of Philosophy online elérhető anyagát használom fel. Sosem volt még ennyi információ szabadon elérhető a történelem folyamán. Ez a helyzet nagyon sok lehetőséget rejt magában, de nem teljesen kielégítő. Csupán az információ birtoklása önmagában nem feltétlenül elég, csak ha tudjuk, hogy melyek a jó információk, melyek a rosszak, melyek a hasznos és melyek a redundáns információk. Itt kap a tudás óriási szerepet. A tudomány szempontjából is nagyon fontos, hogy megértsük, mi a tudás és az is, hogy megnyugtassuk magunkat, hogy valóban annyi tudással rendelkezünk, mint amennyit hiszünk, hogy birtoklunk.

1.1.1 A tudás klasszikus alkotórészei

A tudás szót többféleképpen használjuk a hétköznapi életben. Néhány példa erre: „Mária tudja, ki, mikor megy szabadságra”, „Columbo tudja ki volt a gyilkos”, „Sándor tud biciklizni” stb. Ezeknek a kijelentéseknek az az előnye a „csukd be az ajtót” jellegű mondatokhoz képest, hogy leírnak valamit a világról és eldönthető róluk, hogy igazak-e vagy sem.

Alapvetően két fajta tudástípust szoktak szembeállítani, a *propozicionális* vagy teoretikus tudást (propositional knowledge) és a *képességet* (knowledge-how/skill) [Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2012.]. Propozicionális tudásról beszélhetünk, amikor olyan „S tudja, hogy p” állítások állnak a rendelkezésre, mint a „Sándor tudja, hogy Párizs Franciaország fővárosa”. „S” a tudás birtokosa, „p” pedig a propozíció, amit ő tud. A Sándor tud biciklizni az pedig a képesség.

A következőkben a propozicionális tudás klasszikus megközelítése kerül bemutatásra. A tudás elemzésének hagyományos módja három komponenst tartalmaz. Az elemzés szerint, igazolt, igaz hit szükséges és elégséges a tudáshoz. Azt mondhatjuk, hogy „S tudja, hogy p” akkor és csak akkor ha

- I. p igaz**
- II. S úgy véli, hogy p**
- III. S megalapozottan hiszi, hogy p**

Tehát, ha tudom azt, hogy Párizs Franciaország fővárosa, akkor Párizsnak Franciaország fővárosának kell lennie (I). A tudás igényli a proposíció igazságát. Ugyanakkor az is fontos, hogy hinnem kell az állításban. Érezzük ugyanakkor, hogy a tudás erősebb a hitnél. A tudás további feltétele, hogy megalapozottan kell hinnem azt, hogy Párizs Franciaország fővárosa, nem elég az, hogy a proposíció igaz és hiszek benne (II. és III).

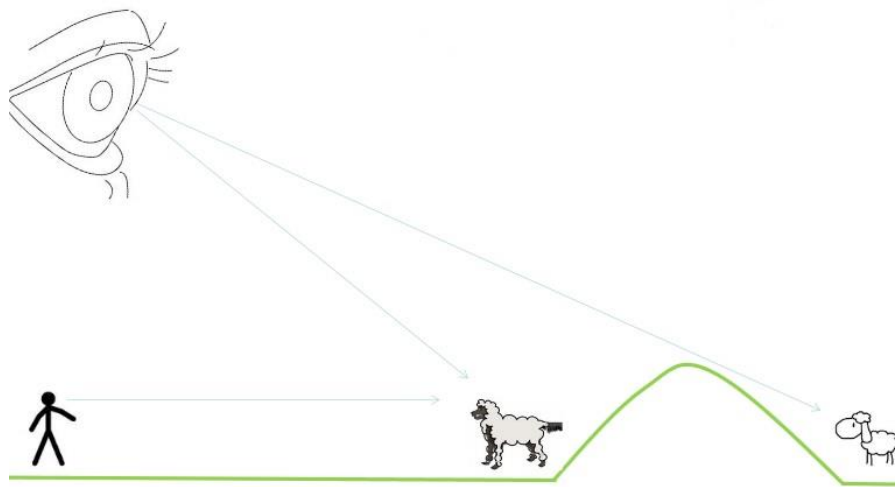
Létezhet olyan eset, hogy valakinek igaza van, rendelkezik hittel az állításról, mégsem győz meg minket tudásáról. Képzeljük el a következőket: a bíróságon a bíró úgy gondolja, hogy a vádlott bűnös, de nem azért, mert végighallgatta az ügyvéd által hozott bizonyítékokat, hanem pusztán előítéletből teszi azt. Kiderülhet az is, hogy a vádlott tényleg bűnös, viszont ezt nem nevezhetjük tudásnak. Hasonlítsuk ezt össze azzal az esettel, amikor a bíró végighallgatja a felhozott érveket, összegzi és elemzi azokat és az alapján jut arra a következtetésre, hogy a vádlott bűnös. Persze mindkét bírónak igaza lett végül, de másképp jutottak hozzá. A tudás több annál, mint hogy igazunk lett, a tudásunk megalapozása is szükséges. Olyan cselekvésmintákat igényel, mint amelyet a második bíró csinált: tényeket gyűjt össze, átgondolja azokat, majd helyes következtetésre jut.

Az elmondottak alapján azt állíthatjuk, hogy a tudás gyakorlatilag egy kapcsolat egy egyén és egy tény között. Ha úgy vélem, hogy egy bizonyos eset áll fenn és azt megalapozottan teszem, és az az eset valóban fennáll, akkor beszélhetünk tudásról. Tehát kijelenthetjük, hogy a tudás elemzésének hagyományos módja szerint a tudás: igazolt igaz hit.

1.1.2 A Gettier probléma

Sajnos a tudás hagyományos szemléletmódja kívánnivalókat hagy maga után. 1963-ban Edmund Gettier egy két és fél oldalas rövid tanulmányban két példát mutatott be az „igazolt igaz hit” tudásfelfogás kritizálására [Gettier, 1963.] A példáiban a szereplők rendelkeznek igazolt igaz hittel, ennek ellenére nem birtokolnak tudást, mert pusztán szerencse útján lesz igazuk. A következőkben nem Gettier által ajánlott példát fogom bemutatni, hanem egy egyszerűbb Gettier típusú problémát, ám ezzel is

szemléltetni tudom az érvét. A példa szerzője az amerikai származású Roderick Chisholm [Chisholm, 1989.]. Képzeljünk el egy farmert, aki nappal a mezőre tekint és egy alakzatot lát, amit egy juhnak gondol. Ez alapján azt a hitet formálja, hogy van egy juh a mezőn. A hite igaz, tényleg van egy juh a mezőn, ez tehát egy igaz hit. Ez ugyanakkor egy igazolt igaz hit, mivel egy gyakorolt farmerről van szó, aki állatokkal foglalkozik, felismer ilyen fajta alakzatokat. Jó oka van rá azt hinni, hogy ez egy juh. A farmernek tehát van egy igazolt igaz hite. Most képzeljük azt, hogy az az alakzat, amit a farmer lát igazából nem egy juh, hanem csak egy juh alakú objektum, mondjuk egy nagyszőrű kutya. Ez az eset látható az 1-es ábrán. A mezőn viszont tényleg van egy juh, de azt éppen a juh alakú objektum takarja el. A farmernek hiába van igazolt igaz hite, csak azért van igaza, mert szerencsés, hogy az alakzatot pont egy juhnak gondolta és a mezőn tényleg van egy juh. A következtetés, hogy bár megvan a farmer igazolt igaz hite, mégsem beszélhetünk tudásról.



1. ábra - Gettier probléma szemléltetése Roderick Chisholm példája alapján [Hofbauer, 2013.]

Egy módja annak, hogy Gettier problémákra válaszoljunk, hogy az éppen felhozott példákat kritizáljuk [Pritchard, 2014.]. Roderick Chisholm példájában párhuzamba állíthatjuk azt az esetet, hogy a farmer a juh alakú objektum láttán azt mondja magában, hogy van egy juh a mezőn, azzal, hogy abban a pillanatban, amikor a farmer meglátja a juh alakú objektumot, azt gondolja, hogy az egy juh. A második esetben ugyanis akkor egy téves hit született, tehát az nem egy igazolt igaz hit. Az ilyen fajta

kibúvások persze működhetnek bizonyos speciális esetekben, de nem oldják fel általánosan a Gettier problémát (aminek alkotására formula is született).

Rögtön Gettier tanulmányának születése után a gondolkodók úgy képzelték, hogy a problémát megoldhatják, ha a propozicionális tudás klasszikus három eleméhez hozzávesznek egy negyediket. Mostanra viszont többnyire világos lett, hogy nincs ilyen negyedik komponens. A Gettier probléma két kérdést vetett fel. Az első, hogy az igazolás egyáltalán szükséges-e a tudáshoz. A Gettier típusú példák megmutatták, hogy intuícióink alapján az indoklás bizonyos esetekben nem elégséges a tudáshoz, még ha igaz hitünk is van. Lehet viszont, hogy az indoklás maga a probléma itt és a tudáshoz nem indoklás szükséges, hanem valami egészen más jellegű dolog. A második kérdés pedig kapcsolódik az elsőhöz: ha a megalapozott hit vagy indoklás nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy véletlenül lett igazunk, akkor mi teszi ezt meg?

A Gettier probléma rávilágít, hogy nem egyértelmű az, ahogyan a tudásra gondolunk. Létezik egy olyan álláspont, ahol ez az attitűd radikalizálódik, ennek a neve *radikális szkepticizmus*.

1.1.3 Radikális szkepticizmus

A radikális szkepticizmus alapkérdése lehetne, hogy „létezik-e egyáltalán a világ, valamint léteznek-e az érzékszerveink által észlelt dolgok?”. A szkeptikus hipotézis azt mondja ki, hogy a világ csak egy illúzió és az érzékszerveink által észlelt dolgok sem valóságok. Nem tudhatjuk, hogy ez a szkeptikus hipotézis nem áll fen, és amíg nem tudjuk, hogy ez a hipotézis igaz-e, addig nem tudhatunk semmit. Legalább is egy külső valóságról nem tudhatunk semmit.

Ennek egy remek példája Hilary Putnam „Agyak a tartályban” nevű hipotézise [Putnam, 1981.]. Eszerint az elképzelés szerint, annak ellenére, hogy azt gondoljuk, kölcsönhatásban vagyunk másokkal, a világgal, egy független valóságban, megtestesült emberek formájában, lehet, hogy ez nem így van [Duncan, 2013.]. Lehet, hogy eltávolították az agyunkat és csak mesterségesen táplált, életben tartott agyak vagyunk, egy tápoldattal teli tartályban és egy szuperkomputer csatlakozói rá vannak kötve az agyunk megfelelő idegvégződéseire, és úgy van programozva, hogy az agyban olyan érzéki tapasztalatokat generáljon, amelyek megkülönböztethetetlenek egy valóságos észlelési tapasztalataitól. Tudjuk-e, hogy nem csupán agyak vagyunk egy tartályban?

Milyen bizonyítékok szolgálhatnak arra, hogy ezt bebizonyítsuk? Az, hogy látjuk a végtagjainkat és érzünk velük nem a legmeggyőzőbb érvek. A két világban tapasztalt dolgok teljesen ekvivalensek. A probléma tehát az, hogy ezek a hipotézisek úgy vannak felépítve, hogy lehetetlen megmondani róluk, hogy igazak-e vagy hamisak. Nem tudhatjuk, hogy nem csak agyak vagyunk egy tartályban, valamint általánosan nem tudunk cáfolatot mondani a szkeptikus hipotézisekre.

Mi következik ebből a hétköznapi tudásunkra való tekintettel? Amennyiben nem tudom eldönteni, hogy nem csak egy agy vagyok egy tartályban, hogyan tudhatom azt, hogy van például két kezem? Mi lehet az alapja annak, hogy azt mondhassam, hogy rendelkezem két kézzel? Látom őket, érzek velük, viszont az agy a tartályban is ugyanúgy észleli őket. A kezekkel való rendelkezés összeegyeztethetetlen azzal, hogy agyak vagyunk egy tartályban.

A kirajzolandó érv leírható két premisszával és egy konklúzióval:

1. Nem tudhatom, hogy nem csak egy agy vagyok egy tartályban.
 2. Ha nem tudom, hogy nem csak egy agy vagyok egy tartályban, akkor nem bízhatok a világgal kapcsolatos tapasztalataimban (például nem tudhatom, hogy vannak-e kezeim).
- Konklúzió: nem sok mindent tudok megfelelően biztosan.

Fontos tisztázni, hogy a szkeptikusok nem állítják, hogy agyak vagyunk egy tartályban, vagy, hogy valószínű, hogy azok vagyunk, vagy bármi ilyesmit. Lehetséges tehát azt mondani, hogy ez a hipotézis túlzó és tudományos fantasztikumba illő. Az egyedüli dolog, ami számít, hogy nem tudjuk róluk azt, hogy hamis elképzelés. Ha nem tudjuk, hogy hamis, akkor pedig hogyan tudhatunk bármit is a hétköznapi dolgainkról, olyanokról, amelyek nem lennének igazak, ha csak agyak volnánk a tartályban.

Az eddigi részek célja annak a bemutatása volt, hogy egyáltalán nem egyértelmű, hogy mit nevezünk tudásnak, és hogy a tudás milyen szerkezettel rendelkezik. Ha valamilyen úton tudáshoz jutunk, akkor be kell mutassuk az állításunk jellemzőit.

A következőkben bemutatom, hogy mégis tudunk igaznak gondolt állításokat mondani a világról és megpróbálok egy leírást adni arról, hogy mit nevezünk tudományos tudásnak. Ide kapcsolódik az a kérdés is, hogy a tudományos állításaink céljáról és átfogó erejéről mit gondolunk, vagy, hogy mitől lesz jó egy tudományos elmélet.

1.1.4 A tudomány és a tudás kapcsolata

Bár az előző szakaszok azt az érzetet kelthetik, hogy semmit sem tudhatunk, mégis birtoklunk valamiféle tudást. Mindennapjainkban sok olyan cselekedetünk van, számos olyan információt fogadunk be és közlünk, és több olyan eszközt használunk, amelyek valamiféle tudást igényelnek. Ha azt sem tudjuk biztosan, mi a tudás, akkor hogy lehetséges mégis az, hogy vannak működő dolgaink a világban, amikről tudunk? Mi a helyzet ezek után az „agyak a tartályban” hipotézissel? Elképzelhető, hogy nincs jelentősége annak, hogy agyak vagyunk a tartályban vagy sem, hiszen a valóság ugyanúgy jelenik meg előttünk mindkét esetben. A valóságról alkotott legkézenfekvőbb modellünk az, hogy hús-vér emberek vagyunk. A tudomány működésében hasonló tendenciák jelennek meg: mondhatjuk azt, hogy az ember természeténél fogva egy mintázatot kereső lény, aki mindenhol szabályokat és rendet próbál keresni, majd ezeket próbálja megérteni és struktúrába helyezni. E tevékenység során szerzett ismeretek legkézenfekvőbb összessége pedig a tudományt alkotja. Thomas Kuhn szerint a tudomány nem más, mint az általánosan elfogadott munkákban összegyűjtött tények, elméletek és módszerek halmaza [Kuhn, 1984.]. Az, hogy a tudomány kijelentései igazak vagy hamisak, egy nagyon bonyolult és fontos kérdés.

Ha valamiféle igazságkoordinátát próbálnánk felállítani, akkor az egyik végén lenne az abszolút igazság, olyan kijelentések, mint amelyet a matematika mond ki. A matematika egy deduktív rendszer, ahol logikai igazságok vannak. Mindegy, hogy mikor mondtuk ki a Pitagorasz-tételt, az ma is igaz. A természettudományok esetén az igazság kicsit mást jelent. A tudósok modelleket alkotnak, amely modellek lehetnek koherensek, ellentmondásmentesek, logikailag helyesek, de nem biztos, hogy helyesen írják le a világot. Karl Popper szerint az empirikus elméleteket nem verifikálhatóságuk, hanem *falszifikálhatóságuk* tünteti ki [Popper, 1997.]. Tehát egy tudományos elmélet addig érvényes, amíg egy kísérlet meg nem cáfolja azt.

A modellek megalkotása során dolgozza ki a tudós a módszert, ami alapján meg próbál felelni a tudomány feltételeinek. A tudomány egyik elméleti feltétele a reprodukálhatóság, amely teljesül a tudományok által vizsgált jelenségek nagy részére. Kivételt képeznek természetesen az olyan tudományok, mint a csillagászat, ahol vannak olyan jelenségeket, amelyek nem reprodukálhatóak. A reprodukálhatóság lényege, hogy ugyanazt a vizsgálati mintát, azonos körülmények között más személyek is képesek

legyenek megmérni, a mérési eredményeket pedig össze lehet vetni. A mérések összevetését is elősegítve, ma a tudomány minden területén megvan az a tendencia, hogy a lehető legtöbb jelenséget a matematika felhasználásával kíván leírni.

A tudományos kutatás menetét egy objektív megközelítés, a *tudományos módszer* foglalja össze. Általánosan elfogadottnak tartom, hogy a módszer bizonyos elemei változhatnak, de általános érvényűek lehetnek a következő lépések [Szkeptikus Társaság, 2014b.]:

- Megfigyelés: A vizsgálni kívánt jelenség megfigyelése, kutatások áttekintése, kísérletezés.
- Hipotézis (feltevés) kialakítása: Lehetséges magyarázat felvetése, majd annak vizsgálata.
- Előrejelzés lehetősége: Ha a vizsgálat során arra a következtetésre jutunk, hogy a hipotézis helyes, akkor a jövőbeli előfordulások megjósolására is alkalmas.
- Kísérlet megismétlése: A kísérleteknek igazolniuk kell a felállított hipotézist. Ha ez nem valósul meg, akkor el kell vetni azt, vagy logikus magyarázatot kell találni az eltérő eredményre. Ha a kísérletek sokasága alátámasztja a hipotézist és az adatok egy érthető rendszert alkotnak, akkor a hipotézisünkben egy *tudományos elmélet* lesz.

Amikor egy *tudományos elmélet*ről beszélünk, sokan hétköznapi értelemben vett elméletként értelmezik azt [Notjustatheory.com, 2014.]. A mindennapi használatban az elmélet szót a hipotézisre vagy a megérzésre szoktuk használni, amit talán bizonyítani kell. A tudományban az elmélet nem egy megérzés, hanem egy jól megalapozott, jól támogatott, jól dokumentált magyarázata a megfigyeléseknek. A tudományos módszer utolsó pontjából jól látszik, hogy összeköti az összes tényt, amit tudunk valamiről, létrehozva egy olyan magyarázatot, amely megfelel az összes megfigyelésnek, és amivel jóslatokba tudunk bocsátkozni. Az elmélet alkotása a végső cél a tudományban, ennél jobban nem tudunk közelebb kerülni valaminek a bizonyításához. A tudományban a tények és összefüggések leírására törvényeket, míg a jelenségek megmagyarázáshoz elméleteket alkotunk. Tulajdonképpen, ha létezne valamilyen hierarchia a tudományban, akkor egy tudományos elmélet magasabb helyet foglalna el, mint egy törvény. A törvények leírják a jelenségeket, az elméletek megmagyarázzák őket.

A tudományos módszer a tudás Gettier problémájára is más fényt vethet. A tapasztalt farmerünknek van egy igazolt igaz hite, mégsem beszélhetünk tudásról. A probléma úgy is feltehető, hogy a farmer igaz hite, mégsem volt eléggé igazolva ahhoz, hogy méltón igazolt igaz hit legyen. A tudomány a legbiztosabb igazolást próbálja nyújtani a megjelenő jelenségekre, ezért feltétele a tudományos módszernek is a kísérletek sokasága és reprodukálhatósága a hipotézis alátámasztásához. Ha több tapasztalt farmer többször tekint a mezőre, több szempontból közelít, majd az észrevételeiket egyeztetik, minimalizálják az esélyét annak, hogy tévedjenek.

A tudományos tudás tehát egy olyan tudományos módszerrel előállított elméletként fogható fel, aminek több alátámasztása ismert – ahogyan a korábbiakban megfigyelhattunk –, viszont cáfolattal egyik esetben sem találkoztunk.

2. A tudományos realizmus tárgyalása

A *tudományos realizmus*¹ azt állítja, hogy a helyes elméletek által leírt entitások, állapotok és folyamatok valóban léteznek [Hacking, 1983.]. A protonok, fotonok, erőterek és fekete lyukak olyannyira valóságok, mint a körmeink. A genetikai információt magában hordozó molekulák struktúrájáról szóló tudományos elméleteink igazak vagy hamisak, viszont egy valóban helyes elmélet a természet igazi arcát írja le. Akkor is, amikor a tudományos elméletünk nem írja le helyesen a világot, a *realisták* úgy gondolják, hogy sokszor megközelítjük az elméletekkel az igazságot. Az univerzum alapszabályainak, szerkezeti összetételének, igazi természetének a feltárása a cél.

A *tudományos antirealizmus* éppen az ellenkezőjét állítja, tehát azt, hogy a tudomány célja nem a világ igazi természetének a feltárása. Például az elektronra vonatkozó antirealizmus azt állítja, hogy nem szükségszerű, hogy valóban úgy létezzen elektron, ahogyan az elmélet leírja. Természetesen vannak elektromos jelenségek és van tudományos örökségünk, viszont az állapotokról, folyamatokról és entitásokról azért találunk ki elméleteket, hogy elő tudjunk állítani és jósolni tudjunk olyan eseményeket, amelyek érdekelnek minket. Tehát ebben az értelemben az elektron pusztán fikció. A róla alkotott elméleteink csupán gondolkodási eszközök. Az elméletek lehetnek kielégítőek vagy hasznosak, indokoltak vagy alkalmazhatók, de lényegtelen, hogy mennyire csodáljuk a természettudomány spekulatív és technológiai győzelmeit, nem szabad a legalátámasztottabb elméletet sem igaznak tekintenünk.

Egyes antirealisták úgy gondolják, hogy az elméletek csak intellektuális eszközök, amelyek nem írják le szó szerint azt, ahogyan a világ működik. Tehát ha egy elmélet azt állítja, hogy léteznek elektronok, akkor valójában egy intellektuális eszközről beszélnek.

Más antirealista szemlélet szerint a tudományos elméletek szó szerinti nyilatkozatok és nincs más kezelési módja annak, hogy megértsük őket. Következésképpen, egy elmélet, amely az elektronokról beszél, valójában posztulálja az

¹ A realizmus a középkori *skolasztika* egyik irányzata, amely szerint az általános fogalmak ténylegesen léteznek. A realizmus tulajdonképpen *Platón* ideatan gondolatát vitte tovább az objektív világ és a fogalmak kérdésének megoldásában. A realizmus sokáig a katolicizmus filozófiai bázisául szolgált. Az irányzat ellen harcoltak a *nominalizmus* képviselői, amely szerint az általános fogalmak pusztán nevek, amely alá több tárgyat csoportosítunk, de amit kifejeznek, azok a valóságban nem léteznek, valóság csak egyes dolgoknak tulajdonítható [Tomori, 1976].

elektronok, mint entitások létezését. Ugyanakkor azt állítják, hogy bármennyire is használnánk az elméleteket, nincs kényszerítő okunk arra, hogy azt higgyünk, hogy ezek igazak.

Hasonlóképpen, a teoretikus entitásokat² nem sorolnák a világban valóban létezők közé: turbinák léteznek, de protonok nem. A biológusok tisztábban gondolkodhatnak az aminosavról, ha egy molekuláris modellt építhetnek drótból és színes golyókból. Segíthet új technológia kifejlesztésében, de ez nem azt jelenti, hogy a valóságban is így állnak elő.

2.1 Két fajta realizmus

Két fajta tudományos realizmusról beszélhetünk, az elméletekre vonatkozó realizmusról és az *entitásokra vonatkozó realizmusról* [Hacking, 1983.]. A két realizmusra különböző kérdések vonatkoznak, előbbire, hogy a tudományos elmélet igaz-e vagy hamis, jelölt-e az igazságra vagy célja-e a világ valódi természetének a leírása, utóbbira vonatkozó kérdés pedig, hogy a kérdéses entitás létezik-e.

Úgy tűnik, hogy ha elfogadunk egy elméletet igaznak, akkor automatikusan elhisszük azt is, hogy az elmélet entitásai is léteznek. Milyen eszmefuttatás az, amiben egyetértünk egy, például a kvarkokról³ felállított elmélettel, de nem hisszük el maga a kvarkok, mint entitások létezését? Van ilyen. Bertrand Russellnek nem voltak gondjai a tudományos elméletek befogadásával, annál inkább a megfigyelhetetlen entitásokkal. Úgy gondolta, hogy a logika segítségével újra kell fogalmaznunk a tudományos elméletet, olyan formában, ahol az entitások csupán logikai konstrukciók. Így a „kvark” kifejezés nem a kvarkot jelölné, hanem azt az összetett kifejezésre alkotott kulcsszót, amely a megfigyelt jelenségre vonatkozik. Russell ilyen értelemben realista volt a tudományos elméletekre, viszont antirealista az entitásokra vonatkozóan.

Az is lehetséges, hogy valaki realista az entitásokkal, viszont antirealista az elméletekkel kapcsolatosan. Rengeteg egyházatya lehet ennek példája. Elhiszik Isten létezését, viszont úgy gondolják, hogy alapvetően lehetetlen Istenről egy valóban érthető elméletet alkotni. Egy természettudományos álláspont a következőképpen szólna: jó okunk van azt gondolni, hogy az elektronok léteznek, viszont elhanyagolható a

² Teoretikus entitások olyan entitások, amelyeket a tudományos elméletek posztulálnak, viszont nem megfigyelhetők.

³ A kvarkok azok az elemi részecskék, amelyekből például a protonok és a neutronok felépülnek [Encyclopedia Britannica, 2014.].

valószínűsége annak, hogy bármely az elektronról alkotott teljes körű leírásunk megfeleljen a valóságnak.

Az *entitásokra vonatkozó realizmus* tehát azt állítja, hogy sok teoretikus entitás valóban létezik. Az antirealizmus ezt tagadja, azt állítja, hogy ezek fikciók, csupán logikai konstrukciók, amelyek intellektuális eszközök, ahhoz, hogy érvelhessünk a világról. Vagy kevésbé dogmatikusan: hogy nincs és nem is lehet semmi okunk azt feltételezni, hogy ezek nem fikciók. Létezhetnek, de nem kell feltételeznünk létezésüket, hogy megértsük a világot.

Az *elméletekre vonatkozó realizmus* azt állítja, hogy a tudományos elméleteink vagy igazak, vagy hamisak, attól függetlenül, hogy mi mit tudunk: a tudomány legalább az igazság felé céloz és az igazság ebben az értelemben a viszony az elmélet és a valóságos működés között. Az antirealizmus ellenben azt mondja, hogy az elméletek legfeljebb indokoltak, jó velük dolgozni vagy egyszerűen elfogadhatóak, viszont nem írják le a világ működését.

2.2 A realizmus összetevőkre bontása

Ian Hacking „Representing and Intervening” című könyve W. Newton–Smithet idézi, ahol Smith három összetevőt ad meg, ami szükséges a tudományos realizmushoz [Hacking, 1983.]:

1. *Ontológiai összetevő*: a tudományos elméletek vagy igazak, vagy hamisak, az alapján, amilyen valójában a világ.
2. *Oksági összetevő*: ha egy elmélet igaz, akkor az elméletben szereplő és azon alapuló kifejezések teoretikus entitásokat jelölnek, amelyek ok-okozati viszonyban felelősek az észlelt jelenségre.
3. *Episztemológiai (ismeretelméleti) összetevő*: lehet indokolt hitünk elméletek és entítások igazságáról (legalábbis elvben).

A felosztásban az ontológiai és az episztemológiai összetevő durván az elméletekre vonatkozó realizmust eredményezi. Így két fajta elméletekre vonatkozó antirealizmusról beszélhetünk, az egyik az 1-es pontot tagadja, a másik a 3-ast.

Ha az ontológiai összetevőt tagadjuk, akkor nem értünk azzal egyet, hogy az elméletek vagy igazak, vagy hamisak, csupán intellektuális eszközök jelenségek megjósolására. A tudományos elméletek, csupán szabályok arra vonatkozóan, hogy egy

bizonyos esetben mi fog történni. Egy verziója az e fajta antirealizmusnak az úgynevezett *instrumentalizmus*, mivel eszközként kezeli a tudományos elméleteket.

Tagadhatjuk a 3-as pontot is. Erre bemutatok egy példát Bas van Fraassen „The Scientific Image” (1980) című könyvéből. Fraassen úgy gondolja, hogy a tudományos teóriákat szó szerint kell értelmezni. A teóriák vagy igazak, vagy hamisak és ez a világtól függ, viszont nem kötelességünk elhinni egyetlen elképzelést sem a megfigyelhetetlenről, hogy a tudománynak értelmet adjunk. Fraassen szerint nincs lehetőségünk a megfigyelhetetlen entitások vagy jelenségek megfelelő verifikálására. Ezt a tudományos attitűdöt nevezzük *konstruktív empirizmusnak*.

Tehát az 1-es és a 3-as összetevő durván lefedi az elméletekre vonatkozó realizmust, viszont az entitásokra vonatkozó nem egészen a 2-es és a 3-as együttese. Newton–Smith oksági összetevője szerint, ha egy elmélet igaz, akkor az elméletben szereplő entitások az okai az észlelt jelenségnek. Newton–Smith úgy gondolja, hogy ilyen entitások létezésében való hit az entitásokat beágyazó elméletnek elfogadásának feltétele. Viszont lehet úgy hinni entitások létezésében, hogy nem fogadunk el egyetlen olyan elméletet sem, amiben ezek szerepelnek. Azt is mondhatjuk, hogy nincs semmilyen mély elmélet egy-egy entitásról, ami igaz lehet, mert nincs ilyen igazság. A természeti törvények álnokok. Az entitások nem feltétlenül okai az észlelt jelenségeknek.

Létezhet egy olyan álláspont is, mely szerint valaki általánosan realista az általa ismert és megértett tudományos állításokra vonatkozóan, viszont például nem fogadja el a kvarkokról szóló elméleteket és a kvarkok létezését sem fogadja el. Az ilyen egyén általánosan realista, viszont antirealista a kvarkokra vonatkozóan.

2.3 Álláspontok és korlátok

A következőkben azt fogom vizsgálni, hogy a különböző álláspontok milyen tudományos korlátokba ütközhetnek. A legnépszerűbb antirealista álláspontokat a fentiekben taglalt felbontás szerint határozom meg.

2.3.1 Instrumentalizmus

Nézzük legelőször azt az esetet, amikor az 1-est, azaz az ontológiai összetevőt tagadjuk. Ilyenkor kapjuk az *instrumentalista* álláspontot, amely szerint a tudományos elméletek nem mások, mint gondolkodási eszközök, amellyel előrejelezni és osztályozni

tudunk, de ennél többet nem mondhatunk. Az elgondolás szerint a tudományos elméletek nem tárnak fel összefüggéseket a világban, tehát nem állítja azt, hogy tudáshoz jutunk, hanem azt állítja, hogy a tudományos elméletek inkább más dolgok miatt hasznosak, például az előrejelző képességük miatt. Jó érv lehet az instrumentalizmus mellett, hogy több elmélet ugyanolyan jól leírhatja a tapasztalt jelenségeket, emiatt nem tudunk kitüntetett elméletről beszélni, amely helyesen határozná meg a világot. A történelem folyamán eltérő elméletek váltották egymást, és mind elég jól működtek a maguk idejében, megfeleltek a kor technikai fejlettségének és az ebből származó követelmény rendszernek, most meg úgy gondoljuk, hogy azok az elméletek helytelenek voltak, vagy legalábbis nem voltak elég pontosak.

Képzeli el, hogy a múltban vagyunk az ókori Görögországban és van két farmerünk, az egyik tudományos realista, a másik instrumentalista. Az első hisz a geocentrikus világképben és ez alapján ülteti a növényeit, az instrumentalista hasznosnak tartja a geocentrikus modellt arra, hogy növényeket ültessen, és e szerint jár el, viszont nem gondolja azt, hogy ez a modell írja le a világot. Így az instrumentalista farmer ugyanarra az eredményre jut, mint a realista azzal, hogy a modell koncepcióját használja, annak ellenére, hogy nem hisz annak valóságában, megtartva a racionalitását. Egy másik példa két rákbeteggel: az első ismét a realista, második instrumentalista. A realista hisz az evolúcióelméletben és azt akarja, hogy az orvosok olyan medicinákat használjanak gyógyulása érdekében, amelyek e tudományos elmélet segítségével lettek kifejlesztve. Az instrumentalista eközben az evolúcióelméletet hasznos modellnek tartja hatóanyagok kifejlesztésében, de az elmélet igazságáról nincs meggyőződve, vagy nem mond véleményt. Ugyanúgy megkaphatja ugyanazt a kezelést, úgy, hogy az evolúcióelméletet eszközként használja. Ez egy racionális álláspont. Az érv körülbelül így hangzik: a tudomány használatához nem szükséges a tudományban való hit.

Mit állíthatunk akkor, amikor a tudomány művelőjének szemszögéből nézzük a problémát? A tudomány művelőjének egy elsődleges célja a tudományos elmélet megalkotásakor az lehet, hogy összefüggéseket tárjon fel a világban felrejlő tények között, azaz, hogy állítson valamit a világról, ami helyes, vagy legalábbis megkísérli az igazság feltárását. De ehhez szükség van egy megfelelő érvre. Egy, a számomra igen meggyőző érvet Hilary Putnam fogalmazott meg, miszerint a tudományos realizmus az egyedüli filozófia, amely nem teszi a tudomány sikerét csodává [Putnam, 1975.]. A tudományos terminusok következetesek, a tudományos elméletek hozzávetőlegesen

igazak, ugyanazok az entitások különböző elméletekben jelenhetnek meg, a jelenségek egymásra épülve újabb jelenséget okozhatnak. Ezek az észrevételek adnak magyarázatot a tudomány renoméjára. Ennek a realista érvnek a sikere a tudomány sikerén múlik, és jelenleg úgy néz ki, hogy a tudomány igen nagy dicsőségeket ér el. A tudomány egységes rendszert alkot, de csak akkor, ha realista szemüveggel nézzük azt. Egy instrumentalista szemszögéből csak egymáshoz nem illeszkedő, ám használható eszközeink vannak, elméletek formájában. Ha a tudományban szereplő entitások nem léteznének és az elméletek nem lennének igazak vagy hozzávetőleg igazak, akkor csupán egy csoda lenne, hogy rendelkezünk olyan elmélettel, mint amilyen a newtoni mechanika, amelynek borzalmasan nagy előrejelző ereje van.

Véleményem szerint egy instrumentalista tudós csak bizonyos elméletek kapcsán kezelheti a teóriákat eszközként, a tudomány többi részén realistának kell lennie. Ez számomra abból következik, hogy ha valaki általánosan instrumentalista, akkor olyan állításokat is teljes komolysággal kéne kezelnie, mint amilyen a bulvár magazinok horoszkópja. A horoszkópoknak ugyanis predikciós igényük van, ám olyan általánosan vannak a szövegek megfogalmazva, hogy nehezen tesztelhetők tudományos szempontból. Egy *általánosan instrumentalista* tudós nem érezhet tudományos motivációt egy mérés vagy számítás nagyobb pontosságának elérésére, ha annak a pontosságnak nincs gyakorlati haszna. Mindamellet, nehezen elképzelhető egy olyan instrumentalista tudós, aki motiváltan egy egységes tudományképet szeretne, valamint nem tud egy predikció szempontjából nem hasznos kutatásban motiváltan részt venni.

Az instrumentalista felfogás viszont kifejezetten hasznos lehet akkor, ha egy kutatásban eljutottunk egy olyan pontra, ahol egy vagy több elméletünk van, ám jelenleg nem áll rendelkezésre a megfelelő eszköztár, hogy a jelenséget mélyen megértsük és beépítsük a jelenlegi realista tudásbázisunkba. Mindaddig eszközként fogunk az elméletre tekinteni, amíg meg nem történik a jelenség mélyenszántó megismerése. Ebben az esetben az elmélet hasznossága, előrejelző képessége nem szabad, hogy megtévesszen minket. Egy elmélet realista szempontból nem csak attól lehet igaz, hogy jó eredményeket ad és hasznos. Egy jó elméletet, amely reményeink szerint leírja a világot, többnyire úgy

mutatkozik meg, hogy kihálnak mellőle az elmélet ellenfelei, ugyanúgy, ahogy ma már nem hisszük, hogy létezik flogiszon⁴.

2.3.2 Konstruktív empirizmus

Amennyiben az episztemológiai összetevőt tagadjuk, Fraassen konstruktív empirizmus álláspontjához jutunk [Hacking, 1983.]. A felfogás röviden azt mondja ki, hogy a tudományos teóriákat szó szerint kell értelmezni, viszont semmi okunk vagy kötelezettségünk nincs elhinni egyetlen elképzelést sem a megfigyelhetetlenről.

A szó szerinti értelmezést a következőképpen kell érteni: ha egy elmélet azt mondja ki, hogy „léteznek elektronok”, akkor az elmélet azt mondja ki, hogy léteznek elektronok. Azonban ez nem túl kielégítő, hiszen vannak olyan megfogalmazások, amikor nem egyértelmű, hogy egy tudományos terminus konkrét vagy matematikai entitásra referál. Ilyen állítások lehetnek a fizikában az erőterekről, mezőkről, amelyek nem konkrét entitások és mindig értelmezhetők matematikai kijelentéseként, így függvények létét állítják [Forrai, 1999.]. Miután úgy döntöttünk, hogy a tudományos elméleteket szó szerint kell értelmezni, még mindig mondhatjuk azt, hogy nem szükséges úgy vélni, hogy a jó elméletek igazak, vagy, hogy az elméletek által posztulált entitások igazak. A teoretikus entitásokat nem sorolnák a világban valóban létezők közé, az őket posztuláló elméletek nem empirikusan adekvátak. Egy elmélet akkor tekinthető annak, ha igaz az, amit az általunk megfigyelhető dolgokról és eseményekről mond. Mint ahogy egy korábbi fejezetben említésre került, e nézet szerint: turbinák léteznek, az elektronokról nem tudjuk ezt kijelenteni. Tehát, a makrovilág objektumai léteznek, a megfigyelhetetlenek más kategóriába tartoznak. Ha például az ásványokat nézzük, van néhány megfigyelhető tulajdonságuk, amit vizsgálhatunk, ilyen az olvadáspontjuk, a keménységük, vagy egymáshoz való kapcsolódásuk, viszont vannak olyan jellemzőik, amely az emberi szemnek megfigyelhetetlenek. A kémia az elemeket atomszámuk vagy rendszámuk alapján különíti el egymástól, ami egyenlő az adott elem atomjaiban lévő protonok számával. Míg az olvadáspont vagy a keménység szabad szemmel vizsgálható, addig nem tanulmányozható ugyanígy az elem atomszáma vagy a molekuláris

⁴ Flogiszon nevű anyaggal az égés folyamatát próbálták megmagyarázni a 17. században. Az elmélet a kémia mérőkövének számít. A flogiszonelméletet végül Antoine Lavoisier cáfolta.

szerkezete⁵. Konstruálhatunk viszont informatív modelleket az ásványok molekulaszervezetéről, különböző színű golyók térbeli elrendezését használva, melyekhez különböző jelentéseket tulajdonítunk. Ezek a jelenségekre adekvát modellek, ennek ellenére a konstruktív empiristák ragaszkodnak ahhoz az elképzeléshez, hogy a modellek nem rendelkeznek igazságtartalommal a megfigyelhetetlennel kapcsolatban. A modellek csak a vizsgált jelenségre kell lényegre törőek legyenek. Hasznos eszközök számítások elvégzésére, de nem mondanak ki semmi valósat a teoretikus entitásokról.

Ez az álláspont a tudomány egy óvatos megközelítése, hiszen csak annyit fogad el, amennyit empirikusan adekvátnak gondol. A konstruktív empiristák úgy érvelnek, hogy álláspontjuk jobb értelmezése a tudománynak, mint a realistáké [van Fraassen, 1980.]. Hagyományosan a tudomány célja a világ struktúrájának feltárása, a kísérletezések pedig csupán arra a célra szolgálnak, hogy megállapítsuk, hogy a tudományos elméletek igazak-e vagy hamisak, valamint, hogy az elmélet beleilleszkedik-e az általunk eddig feltárt világ szerkezetébe. Ezzel szemben, a konstruktív empirizmus szerint a tudósok azért nyúlnak a tudományos elméletekhez, mert a kísérletek megtervezése bonyolult feladat, az elméletek pedig útmutatóként szolgálnak a kísérletezések kivitelezésében. A tudósok igazi célja, a konstruktív empiristák szerint, a tények begyűjtése a világról és a megfigyelhető világ szabályosságainak feltárása.

A konstruktív empirista felfogás nem bocsátkozik metafizikai megfogalmazásokba, mint amelyet egy realista tipikusan elfogad. Ilyenek lehetnek például a „természeti törvények”, vagy az „objektív módszerek” [van Fraassen 1980.]. Mi a helyzet akkor, ha a teoretikus entitásokról, amelyeket most létezőnek vélünk, 100 év múlva kiderül, hogy nem léteznek, ugyanúgy ahogy ma tudjuk, hogy nem létezik éter vagy flogiszton?

Realista szempontból a konstruktív empirizmusra ellenérvként használhatjuk ismét Putman gondolatát, mint ahogyan az instrumentalizmusra használtuk, miszerint a tudományos realizmus az egyedüli filozófia, amely nem teszi a tudomány sikerét csodává [Putnam, 1975.]. Putnam gondolata értelmében, ha a tudományos elméleteink hamisak, miért is olyan sikeresek? Van Fraassen elmésen azt a választ adta, hogy egy elmélet lehet empirikusan adekvát, így leírja a természetben megfigyelhető szabályszerűségeket anélkül, hogy az elmélet igaz legyen. Mondhatjuk azt, hogy a jelenlegi elméleteink sikerét

⁵ A molekulák fényképezésében nagy előrelépések vannak [Phys.org, 2014.].

valamilyen természetes szelekciós folyamat magyarázza, amelyben a legjobb elméletek adaptálódtak az idők során, sikerült megőrizniük az elérhető bizonyítékokat, anélkül, hogy igazak legyenek.

Az viszont, hogy Fraassen megmagyarázta hogyan marad fenn egy elmélet nem elég, azt is meg kell mondania, hogy mi tesz egy elméletet sikeressé. A realisták érvelhetnek úgy, hogy egyes elméletek egyszerűen azért maradtak fenn más elméletekkel szemben, mert igazak és ez teszi őket sikeressé. Az általuk posztulált entitások is igazak, vagy hozzávetőlegesen igazak. Azok az elméletek, amelyek nem maradtak fenn, pedig azért buktak el, mert hamisak voltak. A konstruktív empirizmus álláspontja nem örvend nagy népszerűségnek a fizikusok körében, pontosan amiatt, hogy a teoretikus entitások létjogosultját kritizálja. Az elektronok sosem lesznek úgy megfigyelhetők, mint a turbinák, viszont miért ne hinnénk egy elektronmikroszkópnak vagy részecske ütköztetőnek abban, hogy megbízható képet alkot a számunkra a fellelhető dolgokról? Miért kellene jobban bízunk a saját szemünkben, mint a tudományos eszközeinkben?

2.3.3 Tudományos realizmus alternatív megfogalmazása

A következőkben a tudományos realizmus védelmében kívánok írni. Úgy gondolom, hogy ez az álláspont az, amelyik a legjobban írja le a tudósok a tudományhoz való hozzáállását. A következő szakaszokban az episztemológiai előnyök tárgyalása során mutatom ezt be, előbb viszont definiálom álláspontomat. A tudományos realizmus általam preferált megfogalmazása a következő: a tudomány törekszik arra, hogy a lehető legpontosabban írja le a világot, ugyanakkor egy tudományos elmélet elfogadása magában foglalja azt a hitet, hogy a jelenlegi tudásunkra alapozva, nagy a valószínűsége annak, hogy a világ valóban úgy működik, ahogyan azt az elmélet leírja és egy teoretikus entitás csupán annyira létezik, amennyire a modell működik.

E megfogalmazás három állítást tartalmaz. Az első, hogy a tudomány célja az, hogy a világ struktúráját leírja, ellenben azzal az antirealista állásponttal, mely szerint a tudomány célja empirikusan adekvát elméletek alkotása. Ebből az állításból is látszik már, hogy egy realista álláspontról van szó. Szerintem ennek a kijelentésnek van az antirealista állásponttal párhuzamba állítva, a legnagyobb súlya. Empirikusan adekvátnak tekinthető egy elmélet akkor, ha az „elméletnek van legalább egy olyan modellje, melybe valamennyi tényleges jelenség beleillik” [Forrai, 1999.]. Ebbe a definícióba minden

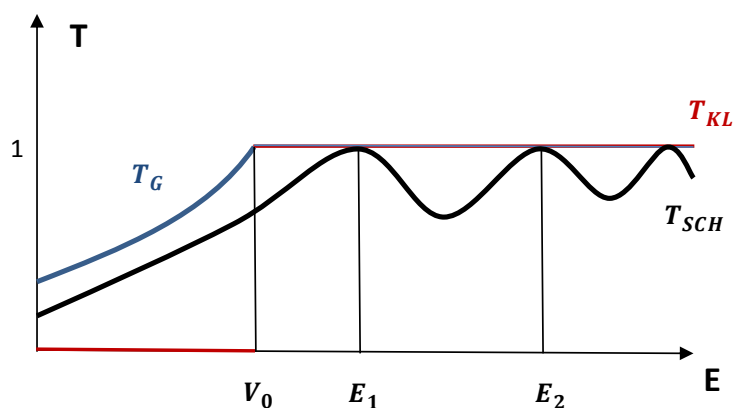
empirikusan tesztelhető, gyakorlatban használt tudományos elmélet beletartozik. Viszont különbség van a gyakorlatban használt empirikusan adekvát és a precíz elméletek között.

Ennek bemutatására egy kvantumfizikai példát hozok. Egy részecske (pl. elektron) behatolhat a klasszikusan tiltott tartományba is, ezt a jelenséget nevezzük alagúteffektusnak. Ki lehet számítani, hogy egy „ $E < V_0$ ” kinetikus energiájú részecske mekkora valószínűséggel jut át egy „ V_0 ” magasságú és „ L ” szélességű ún. „négyzetleges potenciálgáton” [BME TTK Fizikai Intézet, 2013.]. Az átjutási valószínűséget T -vel jelöljük, és transzmissziós tényezőnek nevezzük, aminek természetesen az értéke 0 és 1 között lehet. Ha a potenciálgát széleire (az elektron hullámfüggvény deriváltjára) semmilyen kikötést nem teszünk, akkor egy gyakorlatban használható közelítést kapunk. Matematikai alakja a következőképpen néz ki:

$$T_G = e^{-\alpha L \cdot \sqrt{V_0 - E}} \quad (1).$$

A potenciálgát szélességének növekedésével az átjutási valószínűség exponenciálisan csökken. Az összefüggés egy empirikusan adekvát elmélet részét képezi, Gamow a módszerét az α -bomlás elméleti vizsgálatára dolgozta ki. Ehhez hasonló vagy ezen alapuló közelítést kihasználva alkottunk meg több olyan, a mindennapjainkban egyre gyakrabban használt tárgyat, mint amilyen a flash memória. Az alagúteffektus korrekt leírása Schrödinger hullámegyenletén keresztül történik. Az alagúteffektus a klasszikus fizika számára értelmezhetetlen jelenség, a mérési eredmények viszont igazolják a kvantummechanikai szemlélet helyességét.

Ha a klasszikus fizikai leírás (T_{KL}), a Gamow közelítés (T_G) és a precíz leírás (T_{SCH}) transzmissziós függvényeit egy ábrára helyezzük, akkor egy érdekesség tűnik szemünkbe: a Gamow közelítés és a precíz leírás transzmissziós függvénye az $E < V_0$ tartományban nagyon közelít egymáshoz, ez adja meg annak a lehetőségét, hogy a közelítéssel elég legyen dolgozni a gyártásban.



2. ábra - Transzmissziós tényezők megjelenítése

T_{KL} - Klasszikus fizikai szemlélet

T_G - Gamow közelítés

T_{SCH} - Precíz leírás

$E \geq V_0$ tartományban viszont, míg a Gamow közelítés tökéletes ($T = 1$) áthaladást feltételez a potenciálgáton, a precíz leírásban látható, hogy az áthaladás csak bizonyos energianívókban valósul meg $T = 1$ értékkel. A precíz leírás több kutatási területet foglal magába, ahol ezeket az eredményeket pontosítva újabb felhasználási területekre bukkanhatunk. A Schrödinger hullámegyenletén keresztül levezetett precíz leírás és a Gamow közelítés is empirikusan adekvát, mégis mondhatjuk, hogy egy adekvát empirista elmélet egy precíz elmélet terméke. A realista értelmezésben hisszük, hogy a precíz elmélet tényleg helyes és ennek egy speciális változata jól használható a gyakorlatban, a konstruktív empirizmus szemszögéből viszont a precíz leírás és a Gamow közelítés is csupán egy-egy empirikusan adekvát elmélet.

Az alternatív megfogalmazás második mondata arra vonatkozik, hogy jelenlegi tudásunk szerint, jó indokunk van azt hinni, hogy a világ úgy működik, mint ahogyan az elméleteink leírják. Természetesen, ha valamelyik elméletünkről kiderül, hogy nem helyes, arra megfelelő magyarázatot kell adni és egy új elmélettel kell előállni. Úgy gondolom, hogy ez az álláspont magában foglal egy tévedési lehetőséget is.

Azt az állítást, hogy egy entitás csak annyiban létezik, amennyire az elmélet megengedi, úgy kell értelmezni, hogy egy entitás, mondjuk egy elektron, annyira létezik, amennyire az őt leíró elméletek hitelt tudnak adni neki, az elméletek ruházzák fel tulajdonságokkal is. Bár ez az álláspont hasonlít Bertrand Russell álláspontjához, aki úgy gondolta, hogy az entitások csupán logikai konstrukciók, én valóban hiszem, hogy egy

megfelelően körülírt entitás valóban létezik, viszont csak annyi mondható el róla, amit egy jó elmélet megenged. Ez tehát egyben egy entitás-realista álláspont is.

Az általam preferált megfogalmazás kevesebb elkötelezettséget kíván egy olyan realistával szemben, aki szerint az elméletek szó szerint igazak, viszont, amennyiben a tények és elméletek alátámasztják, nem veti el a teoretikus entitások létezését sem, úgy ahogyan a konstruktív empiristák teszik.

3. Episztemológiai előnyök tárgyalása

Mi tesz egy tudományos elméletet jó elméletté? A korábbi fejezetekben sokszor említést tettem arról, hogyan képzei el egy realista és egy antirealista a jó elméleteket. Thomas Kuhn azt vizsgálta, hogy milyen objektív kritériumokat hozhat fel egy tudós, ha versengő teóriák között kell választania [Kuhn, 1977.] . Végül öt kritériumot sorol fel, amely értéként jelenik meg. Azokat a tudományos elméleteket fogom jó elméleteknek nevezni, amely teljesíti ezt az öt feltételt.

3.1 Kritériumok

3.1.1 Pontosság

Ez a kritérium minden valamirevaló tudományos elméletre teljesül, hiszen a tudományos módszer terminusának megalkotásától kezdve, attól nevezünk valamit tudományos elméletnek, hogy a tényeket összekapcsolja, megmagyarázza. A pontosság tehát adatok magyarázatára szolgál. Egy kísérlet az állításunkat megerősítheti vagy cáfolhatja. A pontossághoz hozzátartozik, hogy elvárjuk, hogy a mérési eredményeink konvergáljanak a számításainkkal.

Ez a kritérium realista elméletekben rendkívül fontos, mivel egy elmélet minél többször van kísérletileg megerősítve, annál nagyobb felhatalmazást érez magában a realista, hogy azt mondhassa: „így működik a világ”. Egy instrumentalista szemszögéből a pontosságnak akkor van mérvadó ereje, ha az szorosan összefügg az elmélet predikciós erejével. Ha egy elmélet kellően pontos, akkor az elméletnek remek predikciós hatása lehet. A konstruktív empirizmus szemszögéből a pontosság annyiban fontos, hogy empirikusan adekvát elmélet legyen. Ezt mutatta be a Gamow közelítés.

3.1.2 Következetesség vagy konzisztencia

Egy új tudományos elméletnek logikusan be kell illenie abba a tudományos tudáshalmazba, amivel már rendelkezünk. A beilleszkedésnek olykor nem kell tökéletesnek lennie, hiszen vannak esetek, amikor az új elmélet forradalmasítja a tudományterületet (erre lesz példa a következőkben az esettanulmány), máskor pedig csak egy kicsit pontosít az elképzelésen. Az új elméletek túlnyomó többségére természetesen érvényes. A konzisztencia egy formája az úgynevezett *korrespondencia*

elv. Ez teszi a tudományt egy összefüggő egésszé. A korrespondencia elv azt mondja ki, hogy egy adott jelenségre vonatkozó új törvénynek háttérében mindig vissza kell adnia a régi elméletet [BME TTK Fizikai Intézet, 2013.]. Az új elmélet megváltoztatja a régi érvényességi körét. Ez nem azt jelenti, hogy a régi állítások hamisak lesznek, hiszen azokat továbbra is csak a régi feltételek között használjuk. Erre nagyon jó példa lehet a speciális relativitáselmélet és a newtoni mechanika összehangolása, ugyanis Einstein egyenletei fénysebességnél sokkal kisebb sebességeinél visszaadja a klasszikus fizikában ismert összefüggéseket.

Egy realista szempontjából csakis azzal a tendenciával lehet kutatni, hogy a jelenlegi tudáshalmazunkba illeszkedjen valamilyen úton az új elmélet, mivel a realista célja egy egységes kép kialakítása. Ezzel az elgondolással a konstruktív empirizmus is egyetérthet, ám megtörténhet, hogy egy empirikusan adekvát elmélet nem egyeztethető össze egykönnyen más elméletekkel, pusztán azért, mert az elmélet nem biztos, hogy elég precíz. Egy instrumentalista tudós szempontjából a konzisztencia nem feltétlenül érték, a tudománynak az ő szemében nem kell egységesnek lennie. Az elgondolásban egymáshoz nem illeszkedő, ám használható intellektuális eszközeink vannak.

3.1.3 Átfogó kiterjedés

Egy tudományos elmélet következményei ki kell terjedjenek a mögé a jelenség mögé, amely jelenség megmagyarázására eredetileg létrejött. Tehát egy elmélet hatásköre bővebb kell, hogy legyen, mint az aktuálisan kutatott jelenség. Ez a kritérium az elméletek összekapcsolásával, továbbá az egységes tudománykép kialakításával is kapcsolatban lehet.

3.1.4 Egyszerűség

Legegyszerűbb magyarázat értéke, leginkább Ockham borotvájához hasonló erény. "*Pluralitas non est ponenda sine neccesitate*", azaz "*Csak szükség esetén posztulálj sokféleséget*" [Szkeptikus Társaság, 2014a.]. Eszerint egy jó elmélet mindig csak a lehető legkevesebb számú „önkényes feltevést” viszi be a teóriába, pontosan annyit, amennyi elengedhetetlen az újdonság megmagyarázásához.

Ockham borotvája nem azt mondja, hogy minél egyszerűbb egy hipotézis, annál jobb. Az egyszerűség elvére manapság egy heurisztikus eszközként tekintünk. Például

éterrel magyarázhatunk egy távolban zajló eseményt, de ha nincs szükségünk az éterre, hogy egy magyarázattal álljunk elő, akkor miért feltételeznénk, hogy van éter? Nem azt feltételezzük, hogy az egyszerűbb elmélet a helyes és az összetettebb a helytelen, viszont tapasztalatból tudjuk, hogy elég sokszor ez a helyzet áll elő. Bizonyítottság hiányában a komplexebb elméletet, amely egy nála egyszerűbbel versenyez, inkább elvetjük, mindaddig, amíg be nem bizonyosodik, hogy tévedtünk.

3.1.5 Eredményesség

Egy új elméletnek új jelenségeket vagy a jelenségek közötti új kapcsolatot kell feltárnia. Ez az érték van a legszorosabb kapcsolatban a predikcióval.

Az instrumentalista álláspontnak az előrejelzés a legfontosabb kritériuma. Ez teszi az elméletet egy erős és használható eszközzé, ugyanakkor ez motiválja a legjobban az instrumentalista tudóst a kutatásra. A konstruktív empirizmus véleményem szerint egy fokkal közelebb áll az instrumentalista felfogáshoz, mint a realista, mivel egy empirikusan adekvát elméletet könnyebben helyezünk gyakorlatba.

3.2 Következtetés

Egy új tudományos elmélet elfogadásában a realisták és antirealisták közötti nézeteltérések nem jelennek meg nyíltan. Az antirealisták szempontjából viszont az elfogadás kevesebb hitet és elkötelezettséget foglal magában, mint a realisták részéről.

Ha két egyenértékű elmélet között kell választani, akkor más a helyzet. Az instrumentalisták számára az eredményesség kritériumnak van a legnagyobb súlya, a többi episztemológiai kritérium csak az eredményesség kiszolgálója lehet. A súlyok kiegyenlítetlensége miatt úgy gondolom, hogy ez az álláspont a legproblémásabb. Számomra nehezen elképzelhető hogyan végezhet egy instrumentalista motiváltan alapkutatást, hiszen egy alapkutatásban állított elmélet csak idővel válhat csak igazán eredményessé. A konstruktív empiristák álláspontja az instrumentalizmus és a realizmus között foglal helyet. Úgy gondolom, hogy itt is egyetlenek a súlyok a kritériumok között, de nem annyira, mint előző esetben. Egy elmélet elfogadása csupán azt a hitet foglalja magában, hogy az említett elmélet empirikusan adekvát, ehhez véleményem szerint az eredményesség és az egyszerűség a legnagyobb súlyú kritériumok.

4. Esettanulmány: a Planck-állandó és a realizmus

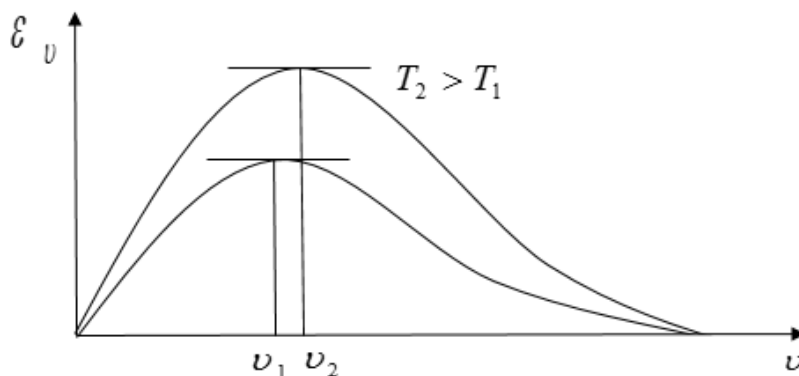
Ebben a fejezetben egy esettanulmány segítségével mutatom meg, hogy a tudományos realizmus elméletalkotásában hogyan jelennek meg az episztemikus előnyök.

4.1 Történeti áttekintés

A Fizika világában, a XX. század első harmadában igazi szellemi forradalom, tényleges *paradigmaváltás* történt, amely megváltoztatta a klasszikus fizika által indikált világképünket [BME TTK Fizikai Intézet, 2013.]. A paradigmaváltást a *kvantumfizika* születése váltotta ki, amely főleg szemléletében nyújt merőben újat, a XX. századi civilizációnk és egyéni szemléletünk szerves részévé vált, akár tudunk róla, akár nem.

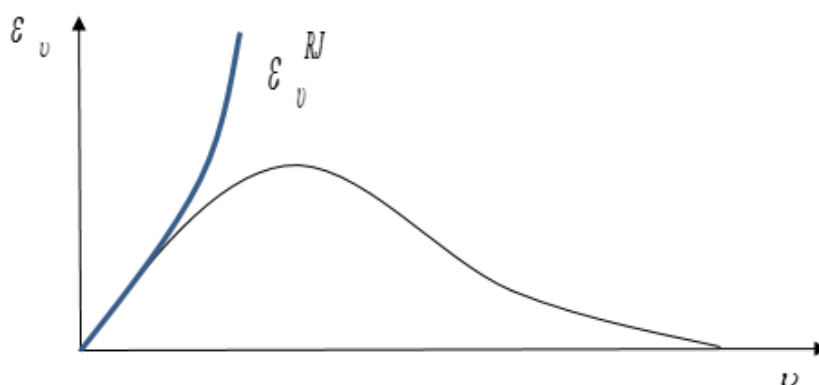
A 19. század végén négy olyan probléma volt a fizikában, ami a klasszikus fizika határait feszegette. Kettő ezek közül kísérleti eredmények körül kialakult ellentmondások, kettő pedig elméleti kérdés. Az egyik elméleti kérdés az *atom* fogalma volt, amely a görög *atomosz*, oszthatatlan szóból ered, de a tudósok elkezdtek gyanakodni, hogy vajon tényleg oszthatatlan-e, felosztható-e szubatomi részecskékre. A második elméleti téma a *tömegpont* fogalmának a kérdése. Ha például a Föld Nap körüli mozgását tárgyaljuk, akkor egy tömegpontnak a centrális erőterben való mozgását írjuk le, viszont a Föld nem tömegpont, hiába lehet nagyon jól modellezni vele. A két kísérlet, melyek új magyarázatokra szorultak a feketetest sugárzása és a fényelektromos jelenség.

Továbbiakban a feketetest sugárzással, vagy más néven a hőmérsékleti sugárzás jelenségével fogok foglalkozni. Ha van egy T hőmérsékletű anyagunk, akkor ez felületegységenként, a felületről merőlegesen, egységnyi térszögben, egységnyi idő alatt, ν és $\nu + d\nu$ frekvenciatartományban kisugároz valamennyi elektromágneses energiát. Wilhelm Wien német fizikus megállapította, hogy a hőmérséklet növekedésével a sugárzás maximuma a nagyobb frekvenciák (vagy a rövidebb hullámhosszúságok) felé tolódik el (3. ábra).



3. ábra - Hőmérsékleti sugárzás, spektrális energia sűrűségének szemléltetése (saját készítésű ábra)

A T hőmérsékleten kisugárzott összenergia nagyságát a Stefan-Boltzmann törvény adja meg. A XIX. század végén a fizikusoknak nem sikerült megadniuk a görbe matematikai alakját. A Maxwell-egyenleteket, a termodinamika és a statisztikus fizika ismert törvényeit alkalmazva rendre rossz eredmények születtek. Erre példa John Rayleigh és James Jeans 1900-ban megalkotott összefüggése, amit Rayleigh–Jeans törvényként szoktunk emlegetni. A 4-ik ábrán jól látható, hogy kis frekvenciákon jól visszaadja a mért értékeket, nagy frekvenciákon azonban eltér azoktól.



4. ábra - Rayleigh–Jeans törvény szemléltetése (saját készítésű ábra)

Fekete színű görbe – mért adatok görbéje

Kék színű görbe – Rayleigh–Jeans görbéje

Az összefüggés képletben:

$$\varepsilon_v^{RJ} = A \nu^2 \langle E_v^A \rangle = A \nu^2 k_B T \quad (2),$$

ahol A egy konstans, ν a frekvencia, $\langle E_v^A \rangle$ a rezgő atomok átlagos energiája, mely az ekvipartíció tétel értelmében egyenlő $k_B T$ -vel. Továbbá k_B a Boltzmann-állandó, T

pedig a hőmérséklet. A képlet és a megfigyelés között nagy méretű eltérés figyelhető meg, amiért a formulában a nagyfrekvenciás tag a felelős (ν^2), ezt a jelenséget nevezték *ultraibolya katasztrófának*.

A hőmérsékleti sugárzás problémáját Max Planck oldotta meg. Planck megalkotott egy formulát, amelyet 1900. október 19-én, a Német Fizikai Társaság ülésén mutatott be. A formula tartalmazott egy illesztési paramétert, amit h -nak nevezett el. A képlet a következőképpen nézett ki:

$$\varepsilon_{\nu}^{PL} = A \frac{h \nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (3).$$

Ugyanúgy, mint előző esetben: A egy konstans, ν a frekvencia, k_B a Boltzmann-állandó, T a hőmérséklet, h pedig az illesztési paraméter. Ha a képlet által indukált görbét felrajzoljuk, akkor egy olyan alakú görbét kapunk, mint amilyen a mért adatunk görbéje (4-es ábra). Már az nagy szó volt, hogy Planck egyáltalán talált egy zárt matematikai formulát, amellyel egyetlen illesztési paraméterrel létre lehet hozni és jól leírja mért adatokat. Nem kellene szükségképpen ilyet találni. Ez azt sugallta, hogy e mögött valamilyen szabálynak kell lennie, ha egy paraméterrel le tudom írni a mért adatok megjelenését egy bizonyos frekvencián. Az derült ki, hogy a ε_{ν}^{PL} függvény tökéletesen megadta a fekete test sugárzási spektrumát minden frekvencián, ha az illesztési paraméter értékét $h = 6,62607 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ -nek választjuk meg. Ez az összefüggés a *Planck-féle sugárzási törvényként* ismert.

De Planck, mindezeket konstatálva, elgondolkodott azon is, mi lehet az oka annak, hogy ilyen zárt görbét kapunk. Ez nem lehet véletlen. Feltette a kérdést, hogy milyen elméleti módosítást kell végrehajtani a klasszikus fizikában ahhoz, hogy a sugárzási törvény kijöjjön. Ehhez a fekete test üreg modelljéből indult ki. Adott volt az üregből távozó energia egy átlagos formulája:

$$\varepsilon_{\nu}^0 = A n(\nu) \langle E_{\nu}^A \rangle \quad (4).$$

A képletben A egy konstans, n a módusok száma, $\langle E_{\nu}^A \rangle$ a rezgő atomok (elemi oszcillátorok) átlagos energiája. Planck észrevette, hogy a módusokat megadó összefüggésen nincs mit változtatni, így azt a kérdést tette fel magának, hogy az elemi oszcillátorok átlagos energiája helyébe mit kell írni, ahhoz, hogy ε_{ν}^{RJ} helyet ε_{ν}^{PL} adódjon.

A válasz a következő:

$$\langle E_{\nu}^A \rangle^{PL} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (5).$$

Az elemi oszcillátor átlagos energiájának új számítási módját a 2-es képletbe helyettesítve felírható:

$$\varepsilon_{\nu}^{PL} = A \nu^2 \langle E_{\nu}^A \rangle^{PL} \quad (6).$$

A formulából kis frekvenciákon visszkapjuk az ekvipartíció-tétel által jósolt klasszikus értéket. Planck a továbbiakban az elemi oszcillátor átlagos energiájának kutatásával foglalkozott. Az volt a kérdése, hogy milyen tulajdonsággal kell rendelkezniük ezeknek az oszcillátoroknak, hogy az átlagenergiájuk $\langle E_{\nu}^A \rangle^{PL}$ legyen. A válasz egyszerű és megdöbbentő volt. Planck azt kapta, hogy ez csakis egy esetben kapható meg, még hozzá abban az esetben, ha feltételezi: az oszcillátorok energiája nem tetszőleges, hanem csak a $h\nu$ egész számú többszöröse lehet:

$$E_n = n \cdot h\nu, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (7).$$

Egy mechanikai oszcillátor energiája tehát nem folytonos, hanem *kvantált*. h neve így *hatáskvantum* lett. Ezzel pedig megszületett a kvantummechanika.

Az állítás, hogy egy oszcillátor energiája kvantált olyannyira döbbenetes volt maga Planck számára is, hogy még legalább 15 évet foglalkozott azzal, hogy a h - t megpróbálja klasszikus törvényekből levezetni, de nem sikerült neki. A korban már rég használták Planck elméletét, „csinálták a kvantummechanikát”, használták az atomok energiájának kvantáltságát, amíg Planck azon gondolkodott, hogy talán nincs is igaza. Később a visszaemlékezéseiben a következőképpen fogalmazott:

„Rövidesen próbálkozni kezdtem, hogy a h hatáskvantumot valamiképpen bekényszerítsem a klasszikus elmélet kereteibe, de ez minden ilyen kísérletnek makacsul ellenszegült. Hiábavaló fáradozásaim több éven át elhúzódtak és igen sok munkámba kerültek. Néhány kollegám valami tragikust látott ebben. Nekem más a véleményem. Számomra értékesebb volt a nyereség, amelyet ez az alapos feltárás hozott. Ma már tudom, hogy a h hatáskvantum a fizikában sokkal jelentősebb szerepet játszik, mint ahogyan azt kezdetben gondoltam. Látom, milyen elkerülhetetlenül szükséges, hogy atomi problémák tárgyalásánál teljesen új szemléletet, teljesen új számítási módszert vezessünk be.”

Planck példája mutatja, hogy a hőmérsékleti sugárzás elméleti konstrukcióban nincs más járható út, csakis az övé. A mérési adatok csakis Planck elméletével válnak értelmezhetővé.

A hatáskvantum karrierje tehát nem volt zökkenőmentes, megszületésekor pusztán csak egy illesztési paraméter volt, későbbiekben, pontosan Planck ez irányú fáradozásai eredményeképpen, egy új természeti állandóvá vált, amely megjelenik az elméleti modelljeinkben, ha azok atomi szinten lezajló kvantumos jelenségeket írnak le. Az 1918-as fizikai Nobel-díjat Max Planck kapta a „*hatáskvantum felfedezéséért*”.

4.2 Episztemikus előnyök meglétének vizsgálata

4.2.1 Pontosság

A kvantumhatásfok felfedezésének történetében a pontosságnak rendkívül nagy szerepe volt. Egyrészt találni egy illesztő paramétert sem volt egyszerű feladat, másrészt a $h = 6,62607 \cdot 10^{-34} Js$ értéknél a formula tökéletesen megadta a fekete test sugárzási spektrumát, minden frekvencián. A hatáskvantum értéke is rendkívül finom felbontást jelent, 10^{-34} -es nagyságrend igazából emberi képzelettel fel sem fogható pontosságú.

Az elmélet kapcsán az episztemikus előnyöket nem lehet pontosan elkülöníteni egymástól, hiszen összefüggnek, a pontosság itt szorosan kapcsolódik az eredményességhez. Ehhez tartozhat még egy történet. A kisugárzott energia frekvencia szerinti eloszlása diszkrét, amely minden atomra (sőt molekulára) különböző [BME TTK Fizikai Intézet, 2013.]. Ezt nevezzük vonalas spektrumnak. Anders Angström volt legelőször az, aki a hidrogén atom látható négy spektrumvonalát igen nagy pontossággal mérte meg. Később a spektroszkópia fejlődése során megmérték a hidrogén atom további spektrumvonalát is. Johan Jacob Balmer, svájci középiskolai tanár egy meglepően egyszerű formulával szolgált, amely megoldotta a problémát a hidrogén atom látható frekvenciaspektrumára. A zárt képlet újra azt üzenté, hogy a hidrogén atom belsejében „szigorú szabályok uralkodnak”, amelyek a spektrumot szolgálják. Balmer eredeti formulája csaknem húsz évre feledésbe merült, míg rájöttek, hogy kellő általánosítással az összes frekvenciaérték is kiszámítható. Az összefüggés ma használatos alakja a következőképpen néz ki:

$$\nu_{m,n} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{E_0}{h} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

$$m = 1, 2, 3 \dots \text{és } n = m + 1, m + 2, m + 3 \dots \quad (8).$$

Látható, hogy a hatáskvantum újra megjelenik. A képletben R a Rydberg-féle empirikus állandó, mely értéke egyenlő az alapállapotú hidrogén atom ionizációs energia ($E_0 = 13,6 \text{ eV}$) és a kvantumhatásfok hányadosával. A számítások pontosan visszaadták a kísérleti adatokat.

4.2.2 Következetesség vagy konzisztencia

Planck személyes visszaemlékezéséből nyilvánvaló, hogy mindent megtett, hogy bekényszerítse a hatáskvantumot a klasszikus elmélet kereteibe, viszont az „makacsul ellenszegült”. Ez viszont nem gond, hiszen pont ilyen módon történik forradalom a tudományban. Ennek ellenére, Planck elmélete nem mond ellent a klasszikus fizikában megismert tételeknek, hiszen határesetben visszaadja azokat. Tekintsük az (5)-ös egyenletet:

$$\langle E_\nu^A \rangle^{PL} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}.$$

Ha a frekvencia kicsi, akkor az összefüggés visszaadja az ekvipartíció-tétel által jósolt klasszikus értéket, azaz:

$$\langle E_\nu^A \rangle^{PL} \rightarrow \langle E_\nu^A \rangle = k_B T, \quad \text{ha } h\nu \ll k_B T.$$

Az elmélet tehát megfelel következetesség és konzisztencia feltételeinek.

4.2.3 Átfogó kiterjedés

A hatáskvantum nem csak a megmagyarázta a jelenséget, amiért eredetileg létrejött, hanem alapvetően megváltoztatta azt, ahogyan a világra nézünk. Az elmúlt század robbanásszerű technológiai fejlődésének gyökerei a kvantummechanikában keresendők. Az informatika forradalom létrejöttét is a kvantummechanika egyik fontos területe, a szilárdtest fizika teremtette meg. Sok adat gyors, megbízható továbbítása lehetővé tette, hogy a világnak alig van olyan eldugott helye, ahol ne lenne egy asztali számítógép internetes kapcsolattal. Napjainkban látványosan fejlődik a kvantuminformatika, aminek alapja, hogy a kvantummechanika már a logikai műveletek szintjén megjelenik. Az elmondottak alapján bátran mondhatjuk tehát, hogy Planck hatáskvantuma egy lavinát indított el, amely gyökeresen megváltoztatta a világot, amiben élünk.

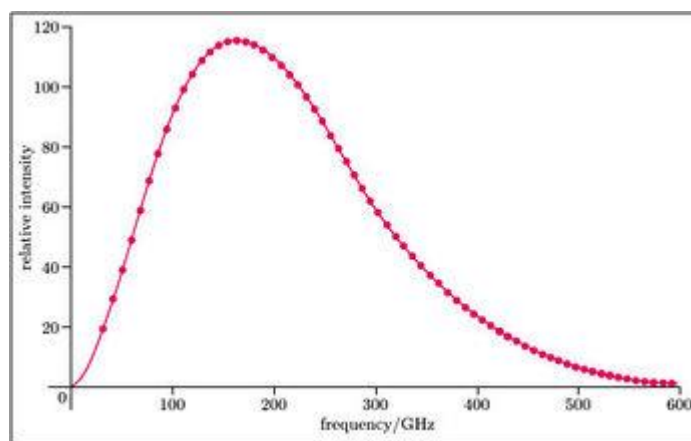
4.2.4 Egyszerűség

A kvantumfizikai elméletek sosem egyszerűek, mivel aki klasszikus fizikán nevelkedett, annak a fogalomtára, gondolkodási struktúrája, változatlan formában használhatatlan az atomi skálán lezajló fizikai folyamatok megértésére. Planck hatáskvantuma viszont megfelel Ockham-borotvája elvének. Egyetlen egy bevezetett illesztési paraméterrel le tudta írni a kívánt jelenséget, amely illeszkedett az összes mér adatra, adott frekvencián. Nem posztulált többet, mint ami feltétlenül szükséges volt.

4.2.5 Eredményesség

Planck hatáskvantuma kikerülhetetlen a modern fizikában. Vele írható le például a ν frekvenciájú foton ($E_{foton} = h\nu$), vagy a szilárd testek rezgési átmeneteinek energiakvantumai is, ám a Planck-féle sugárzási görbe az univerzumból is sok újat tud mondani.

1989. november 18-án a COBE (COsmic Background Explorer) program keretén belül indították útjára azt az űrszondát melynek célja a kozmikus háttérsugárzás nagy pontosságú mérése volt [BME TTK Fizikai Intézet, 2013.]. A kozmikus háttérsugárzás az univerzumban mindenhol jelen lévő 3,5 K hőmérsékletű „zaj”. A háttérsugárzás spektrális sűrűségét 1940-ben Gamow számolta ki. Az űrszonda távcsöve a következő görbét rögzítette (5. ábra).



5. ábra - 2,7 K-os homogén, izotrop sugárzás

Ez a görbe a vonalvastagságon belül visszaadja azt a formulát, amit Planck kitalált ennek a görbének a leírására. Ezzel meghatározhatóvá vált az univerzum kora (13,7 milliárd

évvel ezelőtt „született” a Big Bang alkalmával) és jelenlegi hőmérséklete ($2,725 \pm 0,002 \text{ K}$).

Erre a mérésre képesek vagyunk és a mérés megmagyarázására is képesek vagyunk. Megjósoltuk - ha jók az elméleteink - hogy mit kéne látni és ugyanazt az eredményt kaptuk. Továbbá a mért eredmények tökéletesen visszaadják, mint amit a számítások indukáltak. Ezért a kísérletért 2006-ban John C. Mather és George Smoot Nobel díjat kapott. A Nobel-díj Bizottság megjegyezte, hogy ezzel a méréssel a kozmológia belépett az egzakt tudományok sorába.

5. Összegzés

Dolgozatomban arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a sok tudományfilozófiai elmélet közül melyik az, amelyik a legjobban írja le a tudományt.

Először bemutattam a tudás hagyományos megközelítésének módját, mely szerint a tudás igazolt igaz hit, majd felvázoltam e tudásfelfogás kritizálására felhozott gondolat kísérleteket. Véleményem szerint az egyén számára a tudás megszerzése a tudomány által a legbiztosabb. Azzal érveltem az álláspontom mellett, hogy a tudományos tudás a Gettier problémára is más fényt vethet. Több, ellenőrzött kísérlet, a megjelenő jelenségekre megfelelően alátámasztott hipotézist eredményezhet, hogy elgondolásunk méltón igazolt igaz hit legyen. A tudományos tudásra a következő leírást adtam: a tudományos tudás egy olyan tudományos módszerrel előállított elméletként fogható fel, aminek több alátámasztása ismert, viszont cáfolattal egyszer sem találkozunk.

Ezt követően ismertettem és hasonlítottam össze a tudományos realizmussal kapcsolatos álláspontokat. Bemutattam az elméletekre és az entitásokra vonatkozó realizmust, az instrumentalizmust és a konstruktív empirizmust, mint lehetséges utakat, melyek alapján eldönthetjük, hogy mik a jó tudományos elmélet kritériumai.

Az álláspontom az, hogy egy tudományos elmélet Kuhn által megfogalmazott episztemikus előnyei a tudományos realizmus szemüvegén keresztül válnak teljessé. Tudományos realizmus alatt a következőket értem: a tudomány célja, hogy a lehető legpontosabban írja le a világot, egy tudományos elmélet elfogadása magában foglalja azt a hitet, hogy nagy a valószínűsége annak, hogy a világ valóban úgy működik, ahogyan azt az elmélet leírja, valamint egy teoretikus entitásról csupán annyit mondhatunk el, amennyit a róla alkotott modell megenged.

Az álláspontomat egy esettanulmány segítségével igyekeztem alátámasztani. Az esettanulmány Max Planck a hatáskvantum felfedezését mutatja be. A felfedezés tudományos realizmus szemszögéből teljesíti az öt episztemikus kritériumot (pontosság, következetesség, átfogó kiterjedés, egyszerűség, eredményesség), továbbá az elmélet nem csak empirikusan adekvát, hanem azt az érzetet kelti, hogy a hatáskvantum felfedezésével ráleltünk a világ struktúrájának egy tulajdonságára, nevezetesen, hogy egy oszcillátor energiája nem folytonos, hanem kvantált. A történetből kiderül, hogy a hőmérsékleti sugárzás adataira nem létezik más görbe, mint amit Planck illesztett, nincs

más út, amit bejárhatunk. A hatáskvantum nem csak egy illesztési paraméter, hanem egy természeti állandó. Beépült a modern fizikába, jelenléte megkerülhetetlen, segítségével lehetőségünk van rendkívül nagy pontosságú kísérletek végzésére. Az elmélet konzisztens, hiszen beépül az eddigi tudáshalmazunkba, egységes rendszert alkotva. Alkalmas arra, hogy megjósoljuk egy jelenség kimenetelét, a mérésekhez elvégzéséhez megfelelő mérőeszközöket tudunk gyártani, amelyek természetesen a tudományos tudásunk segítségével készülnek, a mérés eredménye pedig összhangban van a jósolt mennyiséggel. Erre remek példa a COBE program által végzett kozmikus háttérsugárzás mérése.

Ha ilyen jóslatokba tudunk bocsátkozni, akkor mégis tudunk valami biztosat állítani a világról. Így lesz létjogosult a tudományos realizmus álláspontja.

6. Irodalomjegyzék

- Chisholm, R., 1989. *Theory of Knowledge*, 3rd. ed., Englewood Cliffs: Prentice Hall
- Forrai, G. (1999). *Tudományfilozófia: Szöveggyűjtemény*. Budapest: Áron Kiadó, Tudományos realizmussal kapcsolatos érvek.
- Gettier, Edmund, 1963. "Is Justified True Belief Knowledge?", *Analysis*, 23: 121–123
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening*. Cambridge [Cambridgeshire]: Cambridge University Press.
- Helmut Hofbauer, Journal Club, (2013). *The Gettier Problem*. [Online] Látható itt: http://www.meduniwien.ac.at/applied-immunology/praes_labm_ss2013/9_Hofbauer_The%20Gettier%20Problem.pdf
- Kuhn, T. (1977). *The essential tension*. Chicago: University of Chicago Press, pp.320–39.
- Kuhn, T. (1984). *A tudományos forradalmak szerkezete*. Budapest: Gondolat.
- Popper, K. (1997). *A tudományos kutatás logikája*. Budapest : Európa Könyvkiadó.
- Pritchard, Duncan (2013). *Davidson and Radical Skepticism*. University of Edinburgh: A Companion to Donald Davidson, pp.519-532. [Online] Látható itt: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/31024093/HomepageFiles/DavidsonOnScepticismFINAL.pdf>
- Pritchard, Duncan (2014). *Anti-Luck epistemology and the Gettier problem*. University of Edinburgh. [Online] Látható itt: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/31024093/HomepageFiles/ALEGettierProblem.pdf> [Utolsó hozzáférés: 2014. augusztus 26.].
- Putnam, H. (1975). *Mathematics, matter, and method*. London: Cambridge University Press, p.73.
- Putnam, H. 1981. *Reason, Truth and History*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tomori, L. (1976). *Filozófiai kislexikon*. [Budapest]: Kossuth Könyvkiadó.
- Van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford: Clarendon Press, p.73.

7. Internetes források

- BME TTK Fizikai Intézet. (2013) *Kvantumfizika*. [Online] Látható itt: <http://fizipedia.bme.hu/index.php/Kvantummechanika> [Utolsó hozzáférés: 2013. január 9.]
- Encyclopedia Britannica, (2014). *quark (subatomic particle)*. [Online] Látható itt: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/486323/quark>.
- Notjustatheory.com, (2014). *Evolution is Not Just a Theory: home*. [Online] Látható itt: <http://www.notjustatheory.com>.
- Phys.org, (2014). *First-ever high-resolution images of a molecule as it breaks and reforms chemical bonds*. [online] Available at: <http://phys.org/news/2013-05-first-ever-high-resolution-images-molecule-reforms.html>
- Stanford Encyclopedia of Philosophy, *The Analysis of Knowledge*. [Online] Látható itt: <http://plato.stanford.edu/entries/knowledge-analysis/> [Utolsó hozzáférés: 2012. november 15.]
- Szkeptikus Társaság, (2014a). *Occam borotvája - Szkeptikus Wiki*. [Online] Látható itt: http://wiki.szkeptikus.hu/wiki/Occam_borotvaja [Utolsó hozzáférés: 2013. december 16.].
- Szkeptikus Társaság, (2014b). *Tudományos módszer - Szkeptikus Wiki*. [Online] Látható itt: http://wiki.szkeptikus.hu/wiki/Tudom%C3%A1nyos_m%C3%B3dszer [Utolsó hozzáférés: 2014. január 8.]

8. Ábrajegyzék

- | | |
|---|----|
| 1. ábra - Gettier probléma szemléltetése Roderick Chisholm példája alapján | 7 |
| 2. ábra - Transzmissziós tényezők megjelenítése | 23 |
| 3. ábra - Hőmérsékleti sugárzás, spektrális energia sűrűségének szemléltetése | 29 |
| 4. ábra - Rayleigh–Jeans törvény szemléltetése | 29 |
| 5. ábra - 2,7 K-os homogén, izotrop sugárzás | 34 |

9. Képletjegyzék

Gamow közelítés	(1)	22
Rayleigh–Jeans törvény	(2)	29
Planck-féle sugárzási törvény	(3)	30
Üregből távozó energia	(4)	30
Oscillátor átlagos energiája	(5)	31
Planck-féle sugárzási törvény oszcillátoros felírása	(6)	31
ν frekvenciájú mechanikai oszcillátor energiája	(7)	31
Balmer formula	(8)	32