

Szerző: **Bognár Zsófia**

Cím: **Elmélet és tapasztalat viszonya a Hubble-állandó meghatározására irányuló tudományos kutatásban  
(Tudományfilozófiai esettanulmány)**

Intézmény: **ELTE TTK**

Konzulens: **Székely László, tudományos főmunkatárs**

## **Tartalomjegyzék:**

Bevezetés: A dolgozat célja és tárgya

I. A XX. századi tudományfilozófia karakterisztikus elméletei

- I.1. A Bécsi Kör és Karl Popper
- I.2. A kuhnii fordulat és Feyerabend
- I.3. Lakatos Imre
- I.4. A Duhem-Quine tézis és Ockham borotvája

II. A Hubble-Humanson-törvény és a Hubble-konstans problémája

- II.1. A Hubble-Humanson-féle törvény
- II.2. A Hubble-állandó jelentősége

III. Távolságmérés az extragalaxisok tartományában

- III.1. Fotometriai módszerek
- III.2. Geometriai módszerek

IV. Az időskálák közötti kezdeti konfliktus és annak fölöldódása

- IV.1. Az időskála-probléma
- IV.2. A revízió

V. Az 1960-as és '70-es évek kutatásai

VI. Az 1980-as évek és a Hubble-állandó

VII. "Az igazság odaát van, és mi meg fogjuk találni!"

- VII.1. Néhány konkrét megfigyelés eredménye a '90-es évekből
- VII.2. Fejlődés a műszerek terén
- VII.3. A Hubble Key Project
- VII.4. A gyorsulva táguló Univerzum

VIII. A működő tudomány

IX. Zárszó

## **Bevezetés: A dolgozat célja és tárgya**

A XX. század tudományfilozófiája a logikai pozitivizmus nagyratörő és optimista programjával kezdődött, mely nem kevesebbet tűzött ki célul maga elé, minthogy a korábbi sikertelen kísérletek után végre eredményesen kidolgozza a szilárd, biztos tudomány filozófiai alapjait és módszertanát, s ezáltal végre elérje azt a célt, melyet még Bacon és Descartes fogalmazott meg, s amelyre az újkori filozófia – egyik fő föladatánaként – mindaddig sikertelenül törekedett [v.ö. pl.: Schlick 1972; Schlick 1972a]. Az optimizmus természetesen nem abból fakadt, hogy a logikai pozitivizmus képviselői túlértekelték volna saját képességeiket: az egész program azon nyugodott, hogy a Frege, Wittgenstein, s különösképpen Russell és Whitehead által kidolgozott új logika – a szimbolikus logika – olyan eszközzel szolgált a filozófiai ismeretelmélet számára, amelyet a korábbi korok képviselői nélkülöztek [v.ö.: Carnap 1972a]. S ha a XX. századi tudományfilozófia kezdetét e program megszületésével azonosíthatjuk, e tudományfilozófia története tulajdonképpen nem más, mint a - Russell mellett elsősorban a Bécsi Kör és a hozzá kapcsolódó filozófusok által reprezentált - logikai pozitivizmus törekvéseknek fokozatos ellehetetlenülése és fölbomlása, optimizmusuk illuzórikus voltának lelepleződése. [A Bécsi Kör történetéről lásd Altrichter Ferenc bevezetőjét „A Bécsi Kör” című kötetéhez, a Bécsi Kör törekvéseinek illuzórikus voltáról pedig Fehér Márta *A Tudományfejlődés kérdőjelei* című könyvét, valamint a *Magyar Filozófiai Szemlében* megjelent tanulmányát: Altrichter 1972; Fehér 1983; Fehér 1984].

E történet első fontos csomópontja Popper kritikája a logikai pozitivizmus középponti elemét képező verifikációs igazságkritérium fölött, s falszifikáció-elméletének megfogalmazása, mely a tudományos elméletek tudományosságának kritériumát azok empirikus igazolhatósága és igazoltsága helyett az elméletek empirikus cáfolhatóságához – falszifikációjának lehetőségehez – kapcsolja.

A következő fontos esemény e történetben a tudományos megismerés egyoldalú empirista értelmezésének – s általában az empirista ismeretelméletnek – kritikája Quine által, mely kritika különösen markánsan Quine-nek az elméletek empirikus aluldetermináltságát hangsúlyozó esszéjében „Az empirizmus két dogmájá”-ban jelent meg [v.ö.: Quine 1973]. A Quine által megfogalmazott kritikát azután más nyelvezettel s más szövegösszefüggésben Thomas Kuhn fogalmazta meg újból a tudományok tekintetében, mégpedig oly módon, hogy a tudományos elméleteknek, az elméletek fogalomrendszerének, a tudományos kutatás módszereinek és rejttett vagy tudatos előfeltevéseinek a tapasztalattal szembeni önállóságát a tudományos kutatást vezérlő tudományos „paradigma” fogalmába szintetizálta, s ezen önállóságot – mely számára mindenekelőtt a paradigmák meghatározó szerepében, prioritásában jut kifejezésre – a tudomány működésének és a tudományos elméletek változásának, történetének alapvető tényezőjeként értékelte.

Az elméleteknek az empirikus aluldetermináltságával, valamint az empiria teoretikus terheltségével kapcsolatos vizsgálódásokra Popper falszifikáció-elméletének finomításával válaszolt, aminek nyomán Lakatos Imre a késői Popper kapcsán „kifinomított falszifikáció-elméletről” beszél. Ezt az elméletet követve azután ő maga kidolgozta a „tudományos kutatási programok metodológiája” megjelölésű tudományelméletét. [V.ö.: Lakatos 1970; Lakatos 1997]

Az elmélet és a tapasztalat viszonya, e két mozzanat elválaszthatatlan egymásbafonódása tehát nem csupán egyik központi téma volt a XX. századi

tudományfilozófiának, hanem az e tárgykörben elfoglalt álláspont alapjaiban határozta meg magának a tudományfilozófiának a jellegét. Ugyanakkor az e témaival kapcsolatos könyvtársi filozófiai és logikai - valamint nyelvelméleti - irodalomból gyakorlatilag hiányoznak a konkrét tudományos elméletekkel foglalkozó esettanulmányok. Az e problémával foglalkozó gazdag, a legkülönbözőbb álláspontok színes kavalkádját fölmutató filozófiai és logikai vizsgálódások csupán néhány standardizálódott – s sokszor igen vázlatosan kezelt – példán keresztül érintkeznek a természettudományok valóságával (ilyen pl. a kopernikuszi fordulat, a newtoni és az einsteini fizika közötti váltás vagy Lakatos Imrénél a Bohr-féle atomelmélet). S ez a kritikai megjegyzés még a kifejezetten történeti orientációjú kuhni és laktosi tudományfilozófiára is igaz.

Így a tudományfilozófiai érdeklődés horizontjából többnyire kiesnek azok a konkrét természettudományos vizsgálódások és viták is, amelyekben pedig éppen az *elmélet* és a *tapasztalat* elvont ismeretelméleti viszonya jelenik meg kifejezett és markáns formában magán a természettudományon belül. Így a XX. századi kozmológiának egészen a mai napig – vagyis a XXI. század elejére átnyúlva – az egyik legizgalmasabb problémája a *Hubble-konstans* értékének meghatározása, melyben a csillagászok és a kozmológusok folyamatosan az elmélet és a tapasztalat egymással való elválaszthatatlan összefonódásával szembesülnek. Ami itt történik a természettudományban, mintha tudatos alkalmazása lenne annak, amiről Quine ír „Az empirizmus két dogmája” című tanulmányának végén, amikor a tudományt egy olyan erőtérhez hasonlítja, amelynek a tapasztalat csak a szélét perturbálhatja, míg e perturbáció az erőtéren belül a legkülönbözőbb módokon gyűrűzhet tovább, s ennek nyomán a legkülönbözőbb értelmeket nyerheti el az erőtér felől.<sup>1</sup> Ha a *Hubble-konstans* több mint 70 éves történetére egyrészt a tudományfilozófia mindmáig nem figyelt föl – s az e tárgykörrel foglalkozó részletes tanulmányok hiánya erre utal -, s ha másrészt a természettudományos kozmológiából is hiányzik a kitekintés a tudományfilozófia felé, s nem ismeri föl azt, hogy itt a természettudományos problémában egy tipikus ismeretelméleti probléma is jelen van, akkor ez a két hiány a tudományfilozófia és a természettudományok közötti szakadékra, „elidegededett” viszonyra utal.

Célunk az, hogy a jelen diákköri dolgozat szerény keretei között – rövid történeti vázlat után – áttekintsük a Hubble-konstans értékének meghatározásával kapcsolatos problémakör mai helyzetét – mégpedig az elmélet és a tapasztalat egymáshoz való viszonyának tudományfilozófiai problémája szempontjából. Tárgyunk egy természettudományos probléma tehát – de annak filozófiai vonatkozása, az abban rejlö tudományfilozófiai tartalom.

Dolgozatom első részében áttekintem, s röviden karakterizálom azokat az elmélet és a tapasztalat viszonyával kapcsolatban a XX. századi tudományfilozófiában megfogalmazódó tipikus koncepciókat, amelyek vonatkozásában értékelni fogom a Hubble-állandóval kapcsolatos kutatást.

Ezt követi egy rövid történeti vázlat, melyben bemutatom annak az elméleti elkötelezettségrendszereknek és fogalomhálónak a kialakulását, amelynek alapján és keretei között a Hubble-konstans értékével kapcsolatos mai természettudományos kutatás értelmét és értelmezési horizontját elnyeri. Ennek részeként kitérek az időskálák széttöredezésének korai

<sup>1</sup> „... a tudomány egésze hasonló egy erőtérhez, aminek a határfeltételeit a tapasztalat adja. A tapasztalattal a széleken történő összeütközés az erőtér belsejében új rendet hoz létre; kijelentéseink igazságértéke új eloszlást nyer.” [Forrai-Szegedi 1999: 148.o.]

problémájára és az itt jelentkező filozófiai kérdések elemzésére. Ezután a Hubble-konstanssal kapcsolatos mai kutatásokat mutatom be, majd dolgozatom végén e kutatás összefoglaló filozófiai értékelését adom, melynek során nem törekszem minden elődöntő, vitathatatlanak tűnő filozófiai interpretációra, hanem inkább azt jelzem, hogy miképpen alkalmazhatók a legjellegzetesebb tudományfilozófiai koncepciók a tapasztalat és elmélet viszonyának e konkrét természettudományos kutatásban megjelenő problémájára.

## I. A XX. századi tudományfilozófia karakterisztikus elméletei

### I.1. A Bécsi Kör és Karl Popper

Abban, hogy a modern tudományfilozófia egyáltalán önálló tudományággá fejlődhettek, nagy szerepe volt az 1930-as években tevékenykedő *Bécsi Körnek*. A Kör kialakulásának előzményeként – egy bécsi kávéházhöz kötődően – 1907-től már létezett egyfajta filozófiai vitakör különböző aktuális problémák megvitatására – nem csak a filozófia tárgyköréből, hanem a természettudományokból is – melynek tagjai között helyet kaptak különböző tudományágak már elismert képviselői ugyanúgy, mint az egyetemeken frissen végzett hallgatók. (Köztük voltak a Bécsi Kör későbbi meghatározó tagjai is: Otto Neurath közgazdász, akitől később maga a Bécsi Kör elnevezés is származott, Philipp Frank fizikus és Hans Hahn matematikus.) Ez a kör átvészelt Frank 1912-es távozását Prágába, ahol Einstein utódjaként az elméleti fizika tanszék vezetője lett, majd az I. világháborút is. A kör szervezettebbé és a filozófiához jobban kapcsolódóvá tétele 1922-től Moritz Schlick nevéhez fűződik, ezért kezdetben Schlick filozófiai körének is nevezték. Felfogása szerint a megismerés folyamatában fontos szerepe van a nyelv szerkezetének, hatott rá David Hilbert matematikus, Wittgenstein és Carnap filozófiája – az utóbbi egyébként Schlick után a Kör második nagy vezető egyénisége volt. Kapcsolatban volt a Körrel, de tagjai közé nem tartozott például Wittgenstein és Karl Popper (akiről később még lesz szó). A Körhöz a néhány tagja által 1928-ban megalapított *Verein Ernst Mach* formájában hivatalosan bejegyzett szervezet is tartozott, melynek keretében nyilvános előadásokat és szemináriumokat tarthattak a tagok és a külső munkatársak a filozófia és különböző társadalomtudományi kérdések tárgyköréből, továbbá könyvsorozat és folyóiratok kiadásával is segítették az ismeretterjesztést. A Bécsi Kör tevékenységének az 1938-as megszállás után megszűnő publikációs lehetőségek és a II. világháború vetett véget, mivel sok tagja emigrációba kényszerült, felbomlottak az eddig működő nemzetközi kapcsolatok, megszűntek a hasonló tevékenységet folytató szervezetek. [V.ö.: Altrichter 1972]

A Bécsi Kör által képviselt filozófiát „logikai pozitivizmus”-ként szokás megjelölni, mely elnevezést Blumberg és Feigl találta ki 1931-ben. Filozófiájuk lényegét azon meggyőződés alkotta, hogy az új – szimbolikus – logika által lehetővé vált a tudományos állítások igazolásához olyan szabályrendszer kidolgozása, mely segítségével az értelmes és igaz tudományos állítások az empirikus tényekre – a vitán fölül álló empirikusan adottra – visszavezethetők és így empirikusan igazolhatók, míg a hamis és/vagy értelmetlen állítások hamis vagy értelmetlen volta egyértelműen leleplezhető. Ezáltal pedig lehetővé válik a biztos alapokon nyugvó, igazolt tudás – melynek igazsága immár örök, téren és időn kívüli. Ezen elkövetésük filozófiai megfogalmazása volt a verifikáció-elmélete, s tevékenységük ezen elméletük részletes kidolgozására és az azon alapuló verifikációs módszer kimunkálására irányult. [Pl. Schlick 1972a; Schlick 1972b; Carnap 1972; Carnap 1972b]

Filozófiájukat áthatotta a szientizmus – a tudományos megismerésbe vetett egyoldalú és föltétlen hit – s programjuknak igen mély társadalmi üzenete is volt. Meg voltak győződve róla, hogy a szilárd, az igazságról vitathatatlan döntést lehetővé tévő tudományos módszer és az ezen alapuló tudományos gondolkodásmód lehetővé tenné az emberiséget fenyegető veszélyek (pl. háborúk, válságok) elkerülését, a társadalmi élet racionálizálását és humanizálását, a metafizika és az irracionális kiküszöbölését a tudományokból és a filozófiából – s általában: az emberi gondolkodásból [v.ö.: Carnap 1972a].

Ami a filozófia és a tudománytörténet kapcsolatát illeti, a Bécsi Kör nem tartotta fontosnak, hogy történeti szempontok alapján vizsgálja meg az egyes kérdéseket, mivel az általuk kidolgozandó tudományos normákban látta megvalósíthatóknak a racionálizmusnak azokat a tértől és időtől független, megmásíthatatlan normáit, melyek segítségével fel lehet építeni az igazi nagybetűs Tudományt, és racionálizálni lehet a társadalom életét.

A Bécsi Kör filozófiai koncepciója tehát az empirikusan „*adott*” fogalmán alapul. Verifikációelmélete a tudományos és a nem tudományos állítások közötti választást az empirikusan adottra történő visszavezethetőséghez kapcsolja: koncepciójában csak az ilyen, empirikusan visszavezethető és ellenőrizhető állítások értelmesek, míg a többiek – eltekintve a logikai tautológiáktól és az általános módszertani-eljárási szabályoktól – nem csupán tudománytalánok, hanem értelmetlenek. Az értelmes állítások igaz vagy hamis volta pedig ezen elképzelés szerint az empirikus adottra visszavezetés majd ellenőrzés során – azaz a „*tapasztalat*” alapján – egyértelműen előnthségi [Carnap 1972; Schlick 1972a]. Később – miután a verifikáció kivitelezhetőségével kapcsolatban kétségek merültek föl – megfogalmazódott ugyan, hogy valójában csupán az elmélet igazságának megerősítése – konfirmációja – lehetséges, s célként az elméletek egyre erősebb konfirmációját tüzték ki a konfirmálás aktusainak sorozatával. Ám ez az elmélet és a tapasztalat viszonyával kapcsolatos most jellemzett alapvető beállítódáson nem változtatott. [V.ö. pl.: Schlick 1972b]

*Karl Popper* rámutatott arra, hogy a verifikáció mibenlétével és kivitelezhetőségével kapcsolatos problémák nem véletlenek: azzal érvelt, hogy egy tudományos elméletet nem lehet igazolni, csupán cáfolni, s tudományosságának kritériuma többek között éppen annak empirikus cáfolhatósága. Ezen elmélet összefüggésében dolgozza ki a korroboráció fogalmát: egy elméletet újabb és újabb cáfolási kísérleteknek – falszifikációs próbáknak – vethetünk alá, és ha ezek sikertelenek, ezzel az elmélet megbízhatósága növekszik, ám soha nem juthatunk el a feltétlen igazolásig, elméletünk mindig meg fog maradni a hipotézis szintjén. Felfogásában központi szerepet kap így a falszifikáció. Az elméleteknek nem az empirikus igazolására, hanem empirikus cáfolatára kell törekednünk: döntő, cáfoló kísérletek után kell kutatnunk. [Popper 1997]

Popper felfedezés-logikája szerint tehát a megfigyeléseket és elméleteket mindenkor szembe kell állítani egymással, a legyőzött elméleteket el kell vetni, a döntést pedig végső soron a kísérletek mondják ki.

*Bármennyire is különböző egymástól a Bécsi Kör verifikációelmélete és Popper eredeti falszifikáció-elmélete, s csupán e kettőt tekintve bármily határozott is az ellentéük, a két nézet közös abban, hogy az empiriát és a teoriát egyformán egymástól elválaszthatónak tekintik, s úgy vélik az elmélet valamilyen értelemben határozottan a tapasztalat kontrollja alá vonható.*

## I.2. A kuhnii fordulat és Feyerabend

A logikai pozitivisták és Karl Popper nézeteinek versengésében úgy tűnt, hogy az 1950-es évekre Popper egyértelműen fölülkerekedik, s az ő filozófiája lesz a meghatározó tudományfilozófia. Azonban ekkorra megerősödik a tudománytörténet-kutatás, s ennek nyomán egyre világosabbá válik, hogy a tudomány a maga valóságában nemcsak a Bécsi Kör, hanem Popper elképzéléseitől is eltérően működik. Ugyancsak ekkor fogalmazza meg Quine az empirizmus alapföltevéseivel kapcsolatos már említett kritikáját, s ugyanebben az időszakban alkalmazza az alaklélektani fogalmakat és párhuzamokat Hanson a tudományos megismerésre [Pl.: Hanson 1958]. Quine és Hanson vizsgálódásainak alapvető következménye ugyanaz: *az elmélet, az elmélet által alkalmazott teoretikus fogalmak és a tapasztalat nem választhatók szét, nem kiülöníthetők el oly módon, mint ahogy mind a verifikáció-elmélet, mind pedig a falszifikáció-elmélet előfeltételezi. Így egy elmélet abban a formában, ahogy ezek a tudományfilozófiák állítják, nem kontrollálható a tapasztalat által.* A történeti és az újabb tudományfilozófiai vizsgálódások tehát nem csupán a Bécsi Kör tudományfelfogását, hanem Popperét is kérdésessé tették. Popper felfogásának radikális kritikája – és így védekező pozícióba történő szoritása – azonban csak Thomas Kuhnnek a tudományos forradalmáról alkotott – tudományfilozófiai fordulatot jelentő – elméletével kezdődött el 1962-ben [Kuhn 1984]. Kuhn nyomán azután Feyerabend radikalizálta a hagyományos tudományfilozófia és a tudományos racionálizmussal kapcsolatban általánosan elfogadott nézeteket, míg Lakatos és Toulmin megpróbálta kompromisszumos irányban „konzolidálni” a kuhnii fordulatot. [V.ö.: Lakatos 1970; Lakatos 1997; Fehér Márta 1984]

Quine, Hanson vagy a tudománytörténész Koyré, majd Kuhn, Feyerabend, Lakatos és Toulmin – összhangban a természettudományok valós gyakorlatával és történeti változásaival – rámutatott a XX. század első felét uraló – egyoldalúan empirista orientációjú – tudományfilozófia problematikusságára, és ennek részeként – különösképpen az utóbbiak – a filozófia részévé tették a tudománytörténetet. Kiderült, hogy a történelem során a jól megalapozott tudományos elmélet normái változtak, és hogy jelentős eredmények sokszor akkor születnek, ha a kutató megsérti a logikai pozitivisták által oly nagyra tartott módszertani szabályokat. Felvetődött tehát a tudomány racionális voltának kérdése. Ez pedig igen nagy probléma, hiszen ha a tudományt nem tekinthetjük teljesen racionálisnak, akkor létezik-e egyáltalán racionális szegmense az emberi megismerésnek? S mi lehet a sorsa egy ilyen félismerés után a tudomány racionálitásának tételeire épülő tudományfilozófiának? A pozitivista és popperiánus tudományfilozófia követőinek egészen a hatvanas évekig ilyen problémákkal nem kellett szembenézniük, az ezen irányzatokon belül felbukkanó kérdések megoldhatóknak tűntek az elméletek finomításával. A '60-as években azonban ezen klasszikus tudományfilozófiai irányzatok alapelveikben kérdőjeleződtek meg, s ennek nyomán kétségessé váltak a „valódi tudomány” – azaz a „tudomány” és a tudományon kívüli nézetrendszerök, sőt: a tudomány és az „áltudomány” közötti határvonal – kritériumai. Problémaként vetődött föl az is, hogy hogyan egyeztethetők össze a racionálitásra vonatkozó tudományfilozófiai előfeltevések a kor tudományával, illetve az, hogy miként lehet ezen elképzéléseket a tudomány történetére tekintve érvényesnek tekinteni, hiszen elvileg egy jól kidolgozott, racionálista tudománymetodológiának kortól függetlenül minden érvényesnek kellene lennie. Lehetséges-e többféle értékes – különböző normákon alapuló – tudás? S a folvetődő problémák és kétyek elvezethetnek-e a tudományos fejlődés mibenlétéiről alkotott eddigi képünk megkérdőjelezéséhez?

E kérdések és problémák első látásra ugyan riasztónak tűnhetnek, azonban a tudományfilozófia nem omlott össze felvetődésük nyomán. Sőt, a tudományfilozófia új –

máig is ható – korszaka kezdődött el, új eszmék és elképzélések jelentek meg, amelyek ma is aktuálisak. Ezért következzenek *Thomas S. Kuhn*, *Paul K. Feyerabend* és a *Lakatos Imre* elképzelései a tudományos elméletekről, a megfigyelésekkel és a tudományos kutatási programokról.

Thomas S. Kuhn mind történeti, mind filozófiai vonatkozásaiakban részletesen megvizsgálta az előbbiekbén jelzett a problémákat, és arra a következtetésre jutott, hogy abszolút érvényes tudományos normarendszer nincs. A különböző tudománytörténetileg elkölnönthető korszakok az ismeretek megszerzése és értékelése során használt módszerekben és az ezek alapján történő elméletalkotásban különböztek egymástól. A tudomány története nem egy adott ismeretanyag fokozatos bővülése: ez legfeljebb egy-egy korszakon belül lehetett jellemző. Kuhn szerint eleve nincs is olyan objektív, mindenek felett álló értékelőrendszer, melynek segítségével az idők során megjelenő különböző elméleteket valamilyen fejlődési sorrendbe rakhatnánk. Az igazoltnak tekintett ismeretek mennyiségenek növekedése pedig – a logikai pozitivisták vélekedésével ellentétben – nem egyenlő a tudomány fejlődésével, és az egymást felváltó elméletek sem tartanak szükségképpen az igazság felé, mint Popper gondolta. [Kuhn 1984]

A tudományfilozófia megújulásában mérföldkőnek számított Kuhn sokat idézett és nagy vitákat kiváltó, *A tudományos forradalmak szerkezete című műve* [Kuhn 1984], mely először 1962-ben jelent meg. Ennek kulcsfogalma a tudományos "paradigma". A paradigmát az adott időszakban és az adott kutatási közösségen belül általában elismert és elfogadott fogalomrendszernek, az elméleti, módszertani és metafizikai elkötelezettségeknek, valamint a tudományos eredmények kiértékelésében közösen osztott normáknak komplex együttese alkotja, s mint ilyen meghatározza a kutatók látásmódját [pl. Kuhn 1984: 93-95, 119-120, 153-164. o.]. Ennek következtében a tapasztalat nem intakt a paradigmával szemben: azt, hogy a tudomány empirikus oldalról mit és hogyan kutat, mit vesz észre és mit tart jelentősnek, a paradigma határozza meg – miképpen az is a paradigmától függ, hogy az empirikus kutatás eredményei milyen teoretkus értelmezést kapnak. Így az a nem-pozitivista filozófiák számára evidens téTEL, hogy nincsenek elméletfüggetlen, illetve a fogalmi-világnezeti elkötelezettségtől független tények – azaz, hogy az „úgynevezett tények pusztta fölsorolása már maga is interpretáció” [v.ö.: Lukács 1971 216. o.] – Kuhn-nál az empiria paradiigma-meghatározottságára vonatkozó állításban jelenik meg a tudományfilozófiában. Popper ezért téved – fejegeti Kuhn –, falszifikáció nem lehetséges. Ha az empirikus eredetű információ – pl. egy kísérlet eredménye – ellentmondásba kerül a paradigmában dolgozó kutatók elvárásával, ez semmiképpen sem jelent falszifikációt, csupán egy megoldandó rejtvényt, egy kiküszöbölendő anomáliát. Az elméletek pedig nem váltják egymást az ilyen anomáliák miatt, s nem is fogalmazható meg olyan racionális norma, melynek következtében egy-egy anomália megjelenése nyomán egy másik elméletet kellene választani. Az elméletválasztásnak nincsenek normái: váltás a tudományban akkor történik, ha a megoldatlan anomáliák fölhalmozódása válságérzetet hoz létre a tudományon belül, amely – abban az esetben, ha megfelelő alternatív paradiigma körvonalai is kibontakoznak valamiképpen – tudományos forradalommal fejlődhet. A tudományos szempontból normál időszakokban a paradiigma által tartalmazott elméleti alapállítások kétségéhez a tudósközösség részéről nem fér kétség, a tudósok nem annak falszifikációjára törekednek, hanem a paradiigma keretében, a paradiigma igazságát előfeltételező rejtvényfejtés folyik. A paradiigmaváltás pedig nem a „cáfolatokból” eredő módszertani döntés, hanem az anomáliák fölhalmozódása miatt kialakuló válságérzetnek és az új iránt ebből adódó fogékonyságnak köszönhető – s többnyire a régi kutatók egy részének irracionális megtérése, valamint a régi paradiigmához nem kötődő új generáció megjelenése révén megy végbe.

A tudományfilozófia pozitivista és popperiánus hagyományainak – Kuhn által már megkezdett – továbbrombolásában nagy szerepet játszott Paul K. Feyerabend (és műve, az 1970-ben először kiadott Against Method). Ebben Feyerabend tovább feszegette a tudomány történeti fejlődésének és a tudományfilozófiának kapcsolatában rejlö problémákat. Határozottan cátolta, hogy a pozitivisták által annyira keresett egyetlen, mindenki által elfogadandó tudományos módszer létezne. Szerinte a popperiánus és a pozitivista tudományfilozófia meghaladottá vált, alkalmatlanná arra, amire kitalálták. Ő is felvetette a tudomány racionális voltának kérdését. Szerinte nincs – nem volt és nem is lesz – olyan metodológiai norma, amelynek alkalmazását a racionálitás feltételeként szabhatnánk meg. Így a tudomány és a mítoszok közötti határvonal nem húzható meg a rációra hivatkozva, a tudomány e szempontból való kitüntetettsége tehát nem nyugszik valós alapokon.

### I.3. Lakatos Imre

Kuhn és Feyerabend bírálói szerint nézeteikkel az irracionalitás felé viszik a tudományt. Közéjük tartozott Lakatos Imre is, aki kitartott a racionálizmus mellett, mely szerinte mindezek ellenére megmenthető. Lakatos elgondolásában egy tudományos metodológia helyességét úgy lehet meghatározni, hogy megnézzük, ezt alkalmazva időben visszatekintve a tudomány történetének mekkora szelete tűnik elfogadhatónak. Az általa megalkotott tudományos kutatási programok metodológiája szerint pedig egy kutatási programot nem lehet azonnal racionálisnak mondani, csak ha később visszatekintve rá azt tapasztaljuk, hogy előre mutató elméletsorozatot eredményezett. Szerinte ahol Kuhn és Feyerabend irracionalitást fedeztek fel a tudományban, ott történeti távlatokban fellelhető majd a racionális változás. [V.ö.: Lakatos 1970; Lakatos 1997; Lakatos 1997a]

Mindezek ellenére Lakatos elmélete sok vonatkozásban hasonlít Kuhn elméletéhez. Ő is tagadja azt, hogy lehetséges volna a falszifikáció empirikus alapokon, s azt is elveti, hogy egy elméletet a tudománynak belső logikai ellenmondásai miatt el kellene vetnie. Tudományfilozófiája szerint a tudományos kutatási programoknak van egy stabil belső magja, s a tudományos kutatás folytonosságát és a tudományos haladást egy perspektivikus kutatási program esetében éppen az biztosítja, hogy a kutatók a belső ellenmondások és a látszólagos empirikus „cáfolatok” ellenére kitartanak e belső mag mellett (mely a másik oldalról éppen a kutatási programot identifikálja és értelmet ad neki). Kuhnál szemben azonban Lakatos ezt kifejezetten racionális tevékenységgént határozza meg, mely racionálitásának normái vannak. A programhoz való ragaszkodás alapja annak progresszivitása: az, hogy képes új és új problémákat fölvetni és megoldani. A racionális magatartás ezen esetben az, hogy a program belső magját az anomáliákkal szemben segédelméletek és segédhipotézis védelővével őrzik meg, s ez mindaddig racionális, amíg a kutatási program nem válik túl nehézkessé, önvédelme, belső problémái nem válnak domináns, s immár egyre kevesebb új eredményt fölmutató tevékenységgé. Amennyiben ez megtörténik, a program degenerálódik, s ha alternatívaként egy progresszív program körvonalai adottak, a tudománynak immáron a régi programot el kell hagynia, és az újat kell követnie. [V.ö.: Lakatos 1970; Lakatos 1997]

Lakatos szerint – fonti koncepciójának megfelelően – a kutatási program előrehaladása során a pozitív és negatív heurisztika módszerét alkalmazhatjuk. Ez előbbi szerint a kutatók már a kezdetektől tudatában vannak elméletük helytelenségének, mely elméletet a munka során a belső magot védelmező segédelméletek segítségével fejlesztenek tovább. Az empirikus megfigyelésekkel való ütközésekre tehát már előre számítanak egy ilyen kutatási programban, de ezek megoldására is felkészülnek. (Meglepések azonban

mindig lehetnek.) A negatív heurisztika módszerét követve az ellenpéldákat alátámasztássá kell változtatni, így minden nehézség előrelendítő lehet - pl. az eltérések okának keresésével jelentős felfedezésre is juthatunk. Ha az eljárás mégsem működőképes, ez még mindig nem azt jelenti, hogy elméletünk megbukott volna, hanem jelezheti műszereink tökéletlenségét is. [Lakatos 1997]

*Lakatosnál tehát a kutatási program belső magja az, ami intakt, szuverén az empiríához képest.* Mivel azonban a program degenerálódása és a degenerált programhoz képesti progresszív program progresszivitása Lakatos szerint racionális kritériumok alapján félismerhető, ő – szemben Kuhnnal, akinél a paradigmaváltás alapját képező válságérzet nem racionális, s nem metodológiai jellegű tényező – képes a programok közötti választást racionális metodológiai döntésként felmutatni.

#### I. 4. A Duhem-Quine tézis és Ockham borotvája

Végül következzen két olyan téTEL, amely kapcsolatban van az elmélet és megfigyelés közötti lehetséges ellentét, illetve a rivális elméletek témakörével. Elsőként tekintsük a *Duhem-Quine-féle aluldetermináltsági téTEL*, melyet Lakatos kifejezetten elemez és fölhasznál tudományfilozófiája megalapozása során [Lakatos 1970: 184-189. o.], s amely szerint tapasztalataink sohasem támaszthatják alá egyértelműen elméleteinket, egy-egy tapasztalati tényre többféle elméletet, hipotézist is alapozhatunk. Így, ha dönteni akarunk, melyiket fogadjuk el helyesnek, „szubjektív”, „belSő” megfontolások – vagy a tulajdonképpeni tudományos elmélethez képest „külső” hatások, befolyásoló tényezők – is szerepet kell hogy kapjanak. Ennek az elvnek gyakorlati megoldásaival találkozhatunk a különböző kozmológiai modellek megalkotásakor, és teljesen nyilvánvaló, hogy egy-egy megfigyelési tényre valóban többféle magyarázat is adható –(gondoljunk csak konkrét tárgyunk kapcsán pl. arra, hogy a galaxisok vöröseltolódásának értelmezésére a ma uralkodó magyarázat mellett megfogalmazódott a fényfáradási effektus lehetősége is). Azt, hogy valaki mely elmélet híve lesz, befolyásolhatják a számszerű adatokon kívül egyéb tényezők is, pl. egy-egy nagy tekintélyel bíró tanáregyéniség vagy kolléga jelenléte a kutató életében, előzetes olvasmányok, világnezeti beállítottság... Tekinthetjük-e ezt a tudomány objektivitását sértő vagy megkérDőjelező jelenségnek? Alkalmazzuk-e kedvünk szerint és hivatkozhatunk-e döntéseinknél a Duhem-Quine téTELre? Ezek a kérdések bizonyos tekintetben ismét felvetik a tudomány racionális voltának megkérDőjelezhetőségét, ami azonban talán nem is olyan kétségszükséges, ha meggondoljuk, hogy a tudományt "működtető" gépeket emberek alkotják, akik maguk sem racionális, hanem nagyon sok tekintetben irracionális lények. Így egy tudósnak véleményem szerint joga van választani egy kérdéses jelenségre adott válaszok közül saját belső meggyőződését segítségként felhasználva, de csak akkor, ha ez a válasz nincs ellentétben a tudományos világ által általánosan elfogadott törvényekkel, elméletekkel, vagy nem sikerül egy „döntő” érvet/kísérletet felhozni ellene. A kérdés mélységét jelzi azonban, hogy a tudományfilozófia oldaláról nézve az eddig elmondottak alapján ilyen egyértelmű döntő kísérletek vagy érvek egyszerűen nincsenek!

Amennyiben belebonyolódtunk ebbe a kérdésbe, és nem tudunk mit kezdeni a helyzettel, elővehetjük filozófiai fegyvertárunkból az *Ockham-borotvát*. E szerint lehetőleg kerüljünk el a felesleges hipotéziseket, a különböző jelenségeket a már meglévő elméletek segítségével kell megmagyaráznunk. Helyes lehet-e ez a beállítottság? Véleményem szerint ezzel a felfogással nem sokat lehetne elérni a tudományban, a paradigmaváltásokat pedig egyenesen lehetetlenné tenné. Továbbá: mihez kezdenénk akkor, ha ezek a bizonyos régi

elméletek sehogyan sem illenek az általunk észlelt jelenséghez? Hivatkozhatunk-e állandóan megfigyelési technikánk tökéletlenségére?

## II. A Hubble-Humanson-törvény és a Hubble-konstans problémája

Dolgozatunk tudományfilozófiai háttérének e rövid áttekintése után térijünk át a konkrét esettanulmányra, a Hubble-konstans meghatározásának kérdésre. Elsőként magának a problémának történelmi keletkezését mutatjuk be, valamint azt, hogy miképpen kezelte a kozmológia az e tapasztalati eredetű számérték és az elmélet közötti első konfliktust.

### II.1. A Hubble-Humanson-féle törvény

Százdunk első éveiben még kétséges volt, hogy a távcsövekkel, vagy akár szabad szemmel is látható ködös objektumok a Tejútrendszerhez tartoznak-e, vagy pedig azon túl lévő úgynevezett extragalaxisok, mivel a csillagászat nem ismert olyan eljárást, amellyel a csillagfelhök, halmazok vagy ködök távolságát meg lehetett volna határozni. Az ehhez szükséges háttéret *Henrietta Leavitt* 1912-es felfedezése teremtette meg, amikor a Kis- és Nagy Magellán Felhökben található cefeida típusú változócsillagok vizsgálatakor felfedezte, hogy azok abszolút fényességei és fényváltozási periódusai között összefüggés van (periódus-fényesség reláció). Az abszolút fényességek ismeretében pedig meghatározható vált a cefeidakat tartalmazó objektumok távolsága (részletek később az extragalaktikus távolságmérésekről szóló részben).

Harlow Shapley már fedési kettőscsillagok és cefeidak segítségével dolgozott. Észrevette, hogy a gömbhalmazok jelölik ki a Galaxis centrumát, és hogy a Nap ettől jóval távolabb van. A Tejút ma elfogadott méreteit is ő határozta meg. Azonban még mindig azon a véleményen volt, hogy a spirális formát mutató objektumok nem igazi galaxisok, hanem a Tejúthoz tartozó gázködök, vagy a Tejút közvetlen szomszéda. Ezt Adriaan van Maanen kollégája és barátja hatására tette, aki mérhetőnek látta az Androméda-köd forgását (tehát annak eszerint csillagászati mértékkel nézve meglehetősen közel kellett volna lennie hozzánk). Ezt Isaac Roberts walesi amatőr fényképeire alapozta (1880-as évek), aki felfedezte az Androméda spirális jellegét, és azt is látni vélte, hogy forog. [V.ö. pl.: Shapley 1914; Shapley 1916; Shapley 1918; Shapley 1918a; lásd még ugyancsak Robert W. Smith történeti visszatekintését: Smith 1982: 55-77.]

1917-től Heber Doust Curtis tucatszámra fedezett fel nótákat az Andromédában, és sötét foltokat is észlelt a ködnél (sötét felhök). Rájöttek arra is, hogy a még korábban észlelt 1885-ös S Andromedae nótára nagyon halvány volt, és ha elfogadjuk, hogy ez átlagos nótára, akkor az újabb távolság-meghatározási módszerek fényében nagyon messze kellett lennie. Így egyre többen lettek a galaxis-elmélet támogatói, de az a ma már általános műveltséghez hozzátartozó elképzelés, mely szerint az éjszakai égbolton látható csillagok csupán egy hatalmas, de a világgegyetem kozmikus régióihoz képest mégiscsak parányi, spirális szerkezetű lokális csillagrendszer – a Tejútrendszer – részét képezik, melyeket hasonló tejútrendszer milliói vesznek körül, csupán csak a XX. századi csillagászat úgynevezett „nagy vitájában” tört át az 1920-as évek elején [v.ö. pl.: Smith 1982].

A „nagy vita” eldőltével gyökeresen megváltozott a világgegyetem képe, s – Kuhn kifejezésével – nem csupán a tudósok, hanem az egész emberiség is egy teljesen új, korábban

elképzelhetetlen méretekkel jellemzett kozmoszban találta magát. Az az elképzelés, hogy a spirálködök nem tartoznak egy rendszerbe a bennünket körülvevő csillagokkal, hanem a Tejúrendszerünkhez hasonló – a korábban ismert csillagászati távolságokhoz képest tőlünk hatalmas távolságokra elhelyezkedő – hatalmas csillagrendszerek, fölvette annak lehetőségét, hogy a galaxisok segítségével egy régi newtoni probléma – egy jól megbízható tehetetlenségi rendszer – empirikusan kijelölésre kerüljön. Az már közismert volt, hogy a Nap kering a Tejúrendszer középpontja körül, s ugyanígy keringenek a körülötte lévő csillagok. Ám figyelembe véve a galaxisok nagy távolságát és sokaságát, ésszerű volt az a feltevés, hogy maga a Tejúrendszer immáron szabadon halad a térben, s így tehetetlenségi mozgást végez. V. M. Shliper empirikus vizsgálatokat végzett annak kiderítésére, hogy a Nap – s a Nap keringő mozgásának ismeretében visszaszámolva a Tejúrendszer – milyen mozgást végez a galaxisvilágon belül. A feltevés az volt, hogy a galaxisok statisztikai eloszlás szerint mozognak, s ezért a Nap mozgásirányában több kékeltolódást mutató – azaz relatíve közeledő – az ellenkező irányban pedig több vöröseltolódást – azaz relatíve távolodó galaxist - kell észlelnünk. Slipher vizsgálódásai arra a meglepő eredményre vezettek azonban, hogy egy-két közeli galaxistól eltekintve a galaxisok valamennyien vöröseltolódást mutatnak [v.ö.: Slipher 1917]. S bár elvben – mint majd utalunk még rá – számos más magyarázat is elképzelhető, ennek legkézenfekvőbb magyarázata, hogy a galaxisok – a néhány közelünkben lévő kivételtől eltekintve – minden távolodnak tőlünk, s az ennek következtében fellépő Doppler-hatás az, ami színképüket a vörös irányában eltolja [v.ö.: Rees 1999: 31-32.o.]. Slipher ezen korai selfedezését pár évvel később megerősítették C. Wirtz kutatásai. [Wirtz 1918; Wirtz 1921]

Az amerikai csillagász *Edwin Powell Hubble*-nak adatott meg az a lehetőség, hogy *Milton Humanson* asszisztálásával a világ akkori legjobb, 100 inch (254 cm) tükrátmérőjű reflektorával (Hooker-teleszkóp, Mount Wilson) szisztematikus vizsgálat alá vegye a galaxisok általános vörös eltolódásának jelenségét.

Hubble vizsgálatai nem csupán Slipher eredményeit erősítették meg jóval nagyobb mennyiségi megfigyelésre alapozva, hanem feltárult belőlük az is, hogy nem csupán arról van szó, hogy a galaxisvilág egységesen vöröseltolódást mutat, hanem arról is, hogy annak mértéke törvényszerű: ha a galaxisok színképének vöröseltolódását azok távolodására vezetjük vissza, akkor a vöröseltolódásból így kapott távolodási sebességérték egyenes arányban van a galaxisok távolságával. Az ezen összefüggést kimondó törvény a Hubble-féle – vagy pontosabban: a *Hubble-Humanson-féle* – törvény. Mint minden egyenes arányosságot kimondó törvényben, ebben is van egy arányossági tényező, s ez a *Hubble-féle konstans*. [V.ö.: Hubble 1929; Hubble-Humanson 1931; Hubble 1931; Smith 1990]

(A Hubble-Humanson törvény szerint:

$$\log v = 0.2 \text{ mpg} + 0.5,$$

ahol  $v$  : a galaxishalmaz-tagok radiális sebességének átlaga, mpg : átlagos integrált látszólagos fényességük a fotografikus tartományban, amely a két kutató megfigyelései szerint összefügg a vöröseltolódásból mért sebességekkel). Ebből az összefüggésből a magnitúdóskála definícióját felhasználva az alábbi ismert egyenletet kapjuk:

$$v = H \cdot R,$$

ahol R a galaxishalmaz távolsága parsec(pc)-ben, H pedig a nevezetes Hubble-állandó km/sMpc-ben mérve.) [V.ö. még: Gazda-Marik 1982; Marik 1989; Russel 1999; [4] ]

## II.2. A Hubble-állandó jelentősége

Amennyiben elfogadjuk, hogy a galaxisok kozmikus vöröseltolódása távolodásuk következménye, könnyen beláthatjuk, hogy a galaxisoknak a Hubble-törvény szerint adódó távolodási („recessziós”) sebességből visszaszámolhatunk egy időpontot, melyben a most megfigyelhető galaxisok anyaga forró, nagysűrűségű állapotban volt összezsúfolódva; amikor még sem csillagok, sem pedig galaxisok nem létezhettek, s ez a megfigyelhető galaxisvilág kialakulásának kezdőpontjaként határozható meg. A XX. századi relativisztikus kozmológia azonban még ezen a lehetőségen is túlment, amikor a *galaxisok távolodását a benne matematikailag adódó táguló világegyetem-modellek nyomán a világegyetem tágulásának következményeképpen*, s ennek megfelelően az előbbi kezdő időpontot a *fizikai világegyetem evolúciójának kezdőpontjaként*, az azóta eltelt időt pedig a *világegyetem koraként* értelmezte.

Ennek következtében a Hubble-konstans pusztta arányossági tényezőnél jóval mélyebb jelentőséget kapott, hiszen szoros összefüggésbe került a világegyetem korának kozmológiai – s a világegyetem fogalma értelmezésének függvényében egyben metafizikai – fogalmával. A relativisztikus kozmológiában a Hubble-állandó lényegében a világegyetem tágulási sebességét adja meg, melyből a „világegyetem kora” visszaszámolható, és így alapvető jelentőségű kozmikus számértékké válik. (Egyszerű, newtoniánus-eukleidészeti keretben gondolkodva a Hubble-konstans reciproka megadná ezt az időt, s a népszerűsítő irodalom valóban e reciprokot emlegeti a világegyetem koraként. Ám a relativisztikus kozmológiában sokkal bonyolultabb ez az összefüggés - ami azonban nem változtat azon, hogy a Hubble-konstansból ezen elméletben is adódik a világegyetem kora.)

Másrészről, amennyiben kozmikus természettörvényként fogadjuk el a Hubble-Humanson-törvényt, s a Hubble-állandót sikérülne nagy pontossággal meghatározni a közelebbi galaxisok esetében a hagyományos – a Hubble-Humanson-törvénytől független – távolságmeghatározó eszközök segítségével, olyan eszközökhöz jutnánk, mellyel távoli objektumok esetében kiküszöbölhetőek lennének a más extragalaktikus távolságmérési eljárások jellegzetességeiből adódó pontatlanságok.

Mindez nem tűnik olyan bonyolultnak, ezért felvetődhet a kérdés, miért nem tudnak megegyezésre jutni a kutatók H értékét illetően immár évtizedek óta. Pedig milyen egyszerű lenne: megmérjük a lehető legnagyobb pontossággal sok galaxis távolságát, ebből megkapjuk a Hubble-konstanst, és már tudunk távolságot mérni, illetve a Világegyetem korára vonatkozó becslést is közölhetünk.

A probléma azonban már mindenkor az első lépésnél elkezdődik. *Nincs* ugyanis *elmélettől független* távolságmérési eljárásunk: vagy a mérés elméleti oldalán van a hiba, vagy a mi műszereinkben, vagy a mérések értékelésében, esetleg mindenkorban. *Vagy esetleg egyszerűen hibáról sincs értelme beszélni, hanem arról van szó, hogy az empirikus aluldetermináltsággal adódó szabad játekteret nem sikerült még ellentmondásmentesen kitölteni.* A Hubble-konstans tiszta empirikus értékével kapcsolatos problémavezetés filozófiaileg tekintve már eleve hibás, s a tudomány naiv-empirista, vagy pozitivist-relativista – Bécsi körös vagy popperiánus – felfogásán nyugszik, mely szerint azonosítható valamiféle tisztán – vagy alapvetően – empirikus az elméletekkel szemben. Mint látni fogjuk, a galaxisok távolságát nem lehet csak úgy „megmérni” minden elméleti előfeltevés nélkül – s

a mérési eljárások és a mérés kiértékelésének elméleti terheltsége annál nagyobbá válik, minél több galaxist vizsgálunk. Másrészt az sem egyszerű, hogy egy adott Hubble-konstansból milyen korétként kapunk a „világegyetemre” – vagy legalábbis a galaxisvilág és az azok különböző régióiban elhelyezkedő kvazárok világának együttesére, amelyet a mai kozmológia egyszerűen „világegyetemnek” nevez. Ugyanis a kor kiszámítása függ az alkalmazott elméleti modelltől, melynek kiválasztása megint csak nem triviális. Ezért ha végül mégis úgy ítélnénk meg, hogy sikerült elfogadható H értéket kapnunk, meg kell még gondolnunk, hogy a jelenleg ismert kozmológiai modellek közül melyikre alkalmazzuk. Ha pedig már választottunk magunknak ilyet is, még mielőtt elégedetten hátradőlnénk számítógépünk előtt, jobb lesz, ha gyorsan kitekintünk az égitestek kormeghatározásának területére, mivel könnyen lehet, hogy másnak sikerült univerzumunk életkoránál idősebbnek bizonyuló objektumot (pl. gömbhalmazt) találnia, ami erősen megkérdőjelezheti addigi kutatásunk eredményeit. Ez az a tipikus probléma, amelyet megannyi Hubble-konstans meghatározás után sem sikerült minden, a problémával foglalkozó kutató számára elfogadhatóan megoldani – s ebben a természettudományos-technikai problémákon túl valahol ott rejlik *a tapasztalat és az elmélet viszonyának összetett tudományfilozófiai problémája*.

A következőkben arra teszek kísérletet, hogy a téma szakirodalmába betekintést nyújtsak, és ehhez kapcsolódóan megismertessem az elméletek és megfigyelések között olykor felbukkanó ellentétek néhány tudományfilozófiai vonatkozását. Felvetődhet a kérdés, miért is van ez utóbbita szükség, hiszen a Hubble-állandó kutatásának történetét a tudományfilozófia segítsége nélkül is le lehetne írni. Azonban ha egy kicsit tájékozódunk – akár csak a jelenleg is folyó tudományos kutatások terén –, láthatjuk, hogy az elméletek és megfigyelések viszonya más esetekben is felvet és felvetett hasonló problémákat (gondoljunk csak például a hiányzó napneutrínók esetére a jelenből). Ez pedig arra ösztönözte (és ösztönzi ma is) a tudomány kérdéseit a filozófia eszköztárának segítségével vizsgáló kutatókat, hogy maguk is elméleteket állítsanak fel ebben a témakörben. Tehát ha elmélet és megfigyelés viszonyát nézzük, fel lehet sorolni a pusztta tényeknek tűnő összefüggéseket és adatokat, de ugyanakkor nem feledkezhetünk el a tudományfilozófiáról sem. Hiszen a természettudományos problémák filozófiai szempontú megvilágítása nem csupán a különböző tudományfilozófia koncepciók működőképességének megítélése, értékelése szempontjából lehet tanulságos, mint tudományfilozófiai esettanulmány, hanem a természettudomány számára is hasznos lehet, amennyiben jobban megvilágítja a természettudományos szituációt.

Mivel egyrészt a központi probléma az, hogy miképpen függ a Hubble-konstans – egy látszólag tisztán empirikus, s empirikus eljárásokkal meghatározandó – érték az elmélettől, s mivel másrészt a konstans értékével kapcsolatos empirikus vizsgálódások alapvetően a galaxisok távolságának meghatározásán alapulnak, elkerülhetetlen, hogy ismertessük az e tekintetben használt fő módszerek alapvető jellemzőit. Ezért elsőként ezeket fogom áttekinteni, majd ezek ismeretében elemzem az időskálák problémáját, mely a Hubble-Humanson-törvény első megfogalmazása nyomán vetődött föl. Ezután fogok átteíni a probléma mai helyzetére és a mai vizsgálódásokra.

### **III. Távolságmérés az extragalaxisok tartományában**

Igen sokféle távolságmérési eljárás létezik, amely távoli galaxisok esetében használható, ezeket azonban két csoportba oszthatók: ismerünk fotometriai és geometriai módszereket. [V.ö.: Marik 1989: 770.o.]

### III.1. Fotometriai módszerek

Alapjuk az, hogy feltételezzük, a környezetünkben lévő égitestek hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a sokkal távolabb lévő, ugyanolyan típusú objektumok. Ilyen tulajdonság lehet pl. az abszolút fényesség (a látszó fényesség értéke, ha 10 parsec távolságra volnánk a forrástól). Ha tehát tudjuk egy célobjectum abszolút fényességét ( $M$ ), a látszó fényesség ismeretében ( $m$ ) könnyen kiszámítható annak távolsága a következő ismert összefüggés alapján:

$$m - M = -5 + 5 \log d + A(d) ,$$

ahol "d" az általunk meghatározni kívánt adat pc-ben,  $A(d)$  pedig a fényelnyelés miatt belépő korrekciós tényező. Éppen ez az a probléma, amely miatt az eljárás valójában sokkal összetettebb, mint első látásra gondolnánk, hiszen sok bonyolító tényezővel kell számolnunk: a Föld légkörének, valamint a csillagközi és intergalaktikus anyagnak a forrás által kibocsátott elektromágneses sugárzást gyengítő és torzító hatásával.

Az egyik legelterjedtebb ilyen fotometriai eljárás a már említett *cefeida periódus-fényesség reláció*, vagy más néven cefeida parallaxis. A módszer névadó képviselője a δ Cephei nevű szuperóriás csillag. A cefeidak rendkívül fényes pulzáló változócsillagok, átmérőjük és felszíni hőmérsékletük 1 és 60 nap közötti periódussal szabályos változást mutat. Több mint 700 ilyen típusú csillag ismert a Galaxisban, a legközelebbi a sokat tanulmányozott Sarkcsillag, azaz a Polaris. A Henrietta Leavitt (1868-1921) amerikai csillagász által felfedezett törvény szerint a fényességváltozás periódusa szoros összefüggésben van a csillagok abszolút fényességével, ezért ha az ismert periódusból kiszámítjuk a valódi fényességet, akkor a látszó fényesség ismeretében következtetni tudunk a csillag vagy az azt tartalmazó halma, galaxis stb. távolságára a fent említett összefüggés alapján. A módszer előnye, hogy az extragalaxisok elfogadható számban tartalmaznak ilyen típusú változócsillagokat, és az észlelést megkönnyíti ezek viszonylag nagy abszolút fényessége. Hátrányt jelent viszont, hogy nem csak megtalálni kell az adott galaxishoz tartozó cefeidakat, hanem fényváltozásukat is nyomon kell követni, ami viszonylag sok mérést igényel. Problémát jelent még a csillagközi anyag fényelnyelése, amely csökkenti "m" értékét, és annak meghatározása, hogy miként függ a különböző kémiai összetéttől a csillag fényessége. A fényelnyelés a kék és ultraibolya tartományban a legzavaróbb, így a csillagászok igyekeznek annyi különböző hullámhosszon észlelni, hogy felbecsülhessék a korrekciókhöz szükséges tényezőket, de a ma már nélkülözhetetlen CCD technika is segít a probléma megoldásában. [Marik 1989: 771.o.; Moche 1996: 123-124.o.; [5] ]

A cefeidaknál sokkal nagyobb abszolút fényességgel rendelkeznek az ún. *fényes szuperóriás csillagok*, amelyekkel így sokkal messzebb lévő objektumok távolsága is mérhető lenne. Azonban az ebbe a típusba tartozó csillagok igen ritkák és abszolút magnitúdójuk sem mindig egyforma, függ attól, hogy a csillag fejlődésének éppen melyik fázisában tartózkodik, amit pedig nem minden esetben egyszerű megállapítani. [Marik 1989: 771.o.]

Igen nagy fényességet képesek elérni az ún. *eruptív változók* (nóvák, szupernóvák). Ha hosszabb ideig figyelünk egy-egy galaxishalmazt, a szóba jöhető csillagok nagy száma miatt

előbb- -utóbb biztosan észlelhetjük néva, vagy ritkábban szupernóva felfénylését. Legnagyobb látszólagos fényességüket kell megmérni, és mivel abszolút fényességük jól behatárolható, az eddigi eljárásnak megfelelően meg lehet határozni az őket tartalmazó galaxis távolságát.

Az egyik ilyen eljárás az *Ia típusú szupernóvákon* alapul. Ez a jelenség egy fehér törpecsillag összeomlásakor játszódik le, melynek az az oka, hogy a csillag - egy kettősrendszer tagjaként - folyamatosan anyagot kap annak kísérőjétől. Amikor a fehér törpe tömege meghaladja az  $1.4M_{\odot}$  értéket, a saját súlya alatt összeroskad. Az ekkor felszabaduló - igen jelentős mennyiségű - gravitációs energia szolgáltat energiát a szupernóvarobbanáshoz, melynek következményeként a csillag külső részei ledobódnak. Az ebbe a típusba tartozó csillagok igen hasonlítanak egymásra, így a szupernóvarobbanásuk is hasonlóan fényes, ami elméletileg könnyen számolható, alkalmas tehát a távolság meghatározására. Az egyik probléma ott van, hogy ilyen események elég ritkán láthatóak, másfelől pedig korlátozza a módszer felhasználhatóságát az is, hogy a cefeida periódus-fényesség reláció alkalmazásához elég közel lévő galaxisokban történt évtizedes szupernóva-észlelések minősége megkérdőjelezhető - és ezek adják az eddig észlelt jelenségek felét. [V.ö.: Patkós 1995: 164-165.o.; [5] ]

Másik ilyen szupernóvákon alapuló eljárás a *táguló fotoszféra módszer* (EPM), amely II-es típusú szupernóvákat használ fel távolság-meghatározásra. Ez a szupernóva-jelenség is rendkívül fényes, de nem használható fel olyan jól, mint az Ia típusba tartozó, mivel valódi fényessége függ az eredeti csillag méretétől, és nagy szórás mutatkozik a luminozitás (az egységnyi idő alatt kisugárzott teljes energiamennyiség) terén is. A módszer alkalmazása során a Doppler-hatás segítségével meghatározzák a csillag ledobódó, gyorsan táguló héjának sebességét, és szintén a színkép felhasználásával annak hőmérsékletét is. Ezekből kiszámítható a felület növekedése, a ledobódó héj fényessége pedig arányos a felülettel és a hőmérséklet negyedik hatványával. Az így megismert abszolút magnitúdóval többször megismételt mérések után meghatározható a szupernóva távolsága. A módszer előnye, hogy egyaránt alkalmazható közel és távoli galaxisok esetében is, de hátránya, hogy igen precíz észleléseket követel, amely megnehezíti az eljárás gyakorlati alkalmazását. [Patkós 1995: 166-167.o.; [4] ]

Viszonylag új az a módszer, amely a galaxisokban lévő *planetáris ködök* használja fel. Planetáris köd kis és közepes méretű csillagok életének végén keletkezik, az egykor vörös óriás által ledobott gázburokból és annak közepén lévő fehér törpecsillagból áll. Színképükben jellegzetes emissziós vonalak vannak, melyek közül a legerősebbek az 500.7 és 495.9 nm-es tartományban találhatók, ennek köszönhetően könnyű azonosítani őket a galaxisokban. Abszolút fényességük -1 és -4.5 magnitúdó között van, de ezt nem lehet közvetlenül felhasználni távolságmérésre, mert a tapasztalatok szerint nem vezet elég pontos eredményre. A pontosításra szolgál az ún. planetáris köd luminozitás-függvény (PNLF). Ezt egy olyan koordinátarendszerben kell elképzelni, melynek függőleges tengelyén a planetáris ködök száma, vízszintes tengelyén azok látszólagos fényessége van feltüntetve. Az ezzel való mérés technikáját G.H. Jacoby és munkatársai dolgozták ki az 1980-as évek végén. Több száz planetáris köd PNLF diagrammjának felrajzolása után úgy tűnik, hogy a görbék egy adott abszolút fényességnél (-4.48 magnitúdónál) nagyon meredeken levágnak. (Ezt az értéket az Androméda-köd cefeida periódus-fényesség relációból számított távolságának ismeretében határozták meg.) Ennek oka, hogy a ködöt gerjesztő csillag mérete mindenkorábban kisebb 1.4 napfömegnél, így korlátozott mennyiségű foton kibocsátására képes.

Ha sikerül egy galaxisban planetárisokat találni és felrajzolni azok PNLF diagrammját, a vízszintes tengely mentén való elcsúsztatással azt fedésbe lehet hozni egy ismert távolságú galaxiséval, és a csúsztatás mértékéből meg lehet határozni a célobjektum távolságát. A módszer hatótávolsága nem műlja felül a cefeida parallaxisét (20 Mpc), de kevesebb észlelést igényel, és a planetárisok nagy száma miatt a PNLF diagramm elég nagy pontossággal felrajzolható. [V.ö.: Patkós 1995: 166.o.; Kiss 2001: 26-27.o.]

Nagy abszolút fényességűek még a szinte minden galaxisban megtalálható *gömbhalmazok* is, így távolságmérésre ezek is alkalmasnak bizonyultak. Azonban a planetáris ködökhöz hasonlóan ebben az esetben sem lehet közvetlenül csak az abszolút fényességre hagyatkozni, a PNLF mintájára használatos a gömbhalmaz luminozitás-függvény (GCLF) a pontosabb eredmények eléréisére. Az eljárás hatóköre elvileg 50 Mpc, de a későbbiekben nem kizárt a 200 Mpc elérése sem. [Marik 1989: 771.o.; Kiss 2001: 28.o.]

Ha már nem vagyunk képesek a nagy távolság miatt finomabb részletekre bontani egy-egy galaxist, azok globális jellemzőire alapozó becslési eljárásokat alkalmaznunk. Felhasználható az *extragalaxisok integrált látszólagos fényessége, átmérője és integrált színindexe*. Ezek a jellemzők különböző típusú galaxisok esetében természetesen igen eltérőek lehetnek, de azonos morfológiai (és az ezeken belül lévő luminozitási) osztályokban ez a különbség nem jelentkezik. A galaxisok integrált látszólagos fényességének mérése nagy pontossággal megoldható feladat. Az abszolút fényesség oldaláról a spirális és irreguláris galaxisok jól csoportosíthatók, így ezekre a továbbiakban a fotometriai módszer alkalmazható. Elliptikus galaxisok esetében többszín-fotometriával lehet abszolút fényességet meghatározni. [V.ö.: Marik 1989: 773-774.o.]

A fotometriai eljárások sorában itt kell megemlíteni azt a cefeidák alkalmazásától független módszert, amely a *Tully-Fisher reláció* (TF) alapul. Azt a tényt, mely szerint összefüggés van a spirálgalaxisok fényessége és forgási sebessége között - azaz a gyorsabban forgó galaxisok nagyobb tömegűek, ezért fényesebbek is - 1977-ben fedezte fel tapasztalati úton R. Brent Tully és J. Richard Fisher. Az összefüggés a tömeg-fényesség arány és a felületi fényesség között a tapasztalatok szerint az egészen kis tömegű galaxisuktól a legnagyobbakig érvényes. A forgási sebességet megmérhetjük pl. a hidrogén 21 cm-es sugárzásának segítségével, ami azért előnyös, mert nagyon halvány, akár 300 millió fényévnél távolabbi forrásokról is kaphatunk adatokat a rádiósugárzás tartományában észleelve. Habár a Tully-Fisher relációnak nincsen kellően megalapozott elméleti háttere, mégis el lehet mondani, hogy nagy szerepe van más távolság-meghatározási eljárások megbízhatóságának ellenőrzésében. [Patkós 1995: 165.o.; [4]; [5]]

Végül következzen egy viszonylag újnak mondható eljárás, a *felületifényesség-fluktuáció* (surface brightness fluctuations, SBF) módszer, melynek alkalmazását a CCD technika elterjedése segítette. Ennek során felvételeket készítenek távoli galaxisok központjáról, és pontról-pontra megmérik a felületi fényességükben tapasztalható egyenetlenségeket. Mivel a közelebbi galaxisokat könnyebb csillagokra felbontani, több ilyen fényességbeli eltérést mutatnak, mint a távoliak, így következtetni lehet az adott galaxisok távolságára. Ez a technika kezdetben igéretesebbnek tűnt, azonban ma már egyre több kutató kérőjelezzi meg a megbízhatóságát. A bizalmatlanság forrása, hogy az SBF módszerrel kapott távolságadatok jelentősen eltérhetnek a cefeidákat felhasználó eljárásokkal a közelebbi, és a Hubble Űrtávcsővel a távolabbi galaxisokra kapott értékektől. Ennek magyarázata talán a galaxisok fejlődése közben lejátszódó eseményekben és abban keresendő, hogy a módszer csak elliptikus galaxisokat használ. [Kiss 2001: 29.o.; Patkós 1995: 165.o.; [4]]

### **III.2. Geometriai módszerek**

Alapjuk az, hogy feltételezzük, a hasonló típusú objektumok mérete is hasonló bárhol a Világegyetemben. Ilyen extragalaktikus objektumoknak kell meghatároznunk a látszó szögátmérőjét, ezek aránya pedig feltételezésünk szerint megegyezik távolságuk arányának reciprokával. Itt az a legnagyobb probléma, hogy ezen objektumok általában diffúz szerkezetűek, amelyen még a földi légkör is módosít, ráadásul különböző műszerekkel mérve a képek kontrasztja is más. Mindezek jelentősen megnehezítik a látszó szögátmérő lehető leg pontosabb meghatározását. Geometriai távolságméréshez használhatók a galaxisokban található ionizált hidrogénfelhők (H II területek), melyeknek lineáris mérete egy adott érték körül kevessé változik. Ezeket spirál és irreguláris galaxisokban lehet főleg felfedezni, interszelláris anyagban szegény objektumoknál a módszer természetesen nem alkalmazható. [Marik 1989: 770.o.]

A geometriai módszerek családjába tartozik a *Szunyajev-Zeldovics-hatás* alkalmazása, ami szintén nem igényli a cefeida periódus-fényesség reláció felhasználását. A jelenség alapja a galaxishalmaz-tagok között lévő forró, 107 K hőmérsékletű plazma és a mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás kölcsönhatása. Ebben az intergalaktikus plazmában nagy energiájú, relativisztikusan mozgó elektronok vannak, melyeken szóródnak a mikrohullámú fotonok (Compton-effektus). Ezzel megváltozik a kozmikus háttérsugárzás, amit a megfigyelő annak hőmérsékletváltozásaként észlel (forró pontok alakulnak ki). A galaxishalmaz röntgenspektrumának és a háttérsugárzás változásainak modellezése becslést adhat a halmaz valódi átmérőjére, amit a látszó átmérő ismeretében felhasználhatunk távolságmérésre. Előny a módszer nagy hatótávolsága, hátrány viszont az egyelőre még jelentős mérési pontatlanság (mint az EPM esetében), amelyen azonban az egyre jobb röntgentávcsövek alkalmazása segíthet, és akár az egyik fő távolságmérési eljárássá is teheti ezt a módszert, mivel ígéretek szerint a mérések hibája hamarosan akár 10% alá vihető lesz. (Erre a feladatra specializálódott pl. a SuZIE - Szunyajev-Zeldovics Interferométer Kísérlet.) [V.ö.: Kiss 2001: 29-31.o.; [4] ]

### **III.3. Egy ígéretes új eljárás**

Első látásra meglepő módon ez *gravitációs lencsék* hatását használja fel távolságmérésre. Szükségünk van hozzá egy kvázárra (aktív galaxis-nukleusz) és egy gravitációs lencseként funkcionáló galaxisra, amely olyan szerencsésen helyezkedik el, hogy megkettőzi az eredeti kvázár képét. Ennek az objektumtípusnak jellegzetes tulajdonsága, hogy változtatja a fényességét. A két képről érkező fény különböző hosszúságú utat tesz meg, amíg elér hozzánk, így amikor változás történik az objektum fényességében, ezt először csak az egyik képen, majd napok elteltével a másikon is észleljük. Távolságmérésre való alkalmazásának elmeletét 1964-ben S. Refsdal norvég csillagász dolgozta ki. Vegyük egy gravitációs lencsét G távolságban és egy kvázárt K távolságban, illetve legyen a két kvázárkép fényváltozása között eltelt idő T. T értéke Refsdal szerint arányos G és K távolságok reciprokainak különbségével, így ha valamilyen módon meghatározhatnánk G és K arányát, akkor a két kvázár fénygörbeje között lévő fáziseltolódás ismeretében megtudhatnánk az eredeti kvázár és a galaxis távolságát. Ez nem is lehetetlen, hiszen G és K távolságok aránya megegyezik a vöröseltolódások arányával. Az eljárás hátránya a még kidolgozás alatt álló gravitációs lencse-modellezés, de ez semmit sem von le a módszer nyilvánvaló előnyeiből (pl. nem kell alkalmaznunk a cefeida parallaxist) és szépségéből. [Kiss 2001: 31-32.o.; [4] ]

Most, hogy már ismerünk többé-kevésbé pontos távolság-meghatározási eljárásokat, megkísérelhetjük a Hubble-állandó meghatározását is, melynek története az 1920-as évek végére nyúlik vissza, és egészen a mai napig foglalkoztatja az Univerzum nagyléptékű szerkezetének kutatóit.

A módszer megnevezése	Alkalmazott galaxistípus
Cefeida parallaxis	Spirál, szabálytalan
Vörös óriások (II. populáció)	Elliptikus
Fényes kék szuperóriások	Spirál, szabálytalan
Fényes vörös szuperóriások	Spirál, szabálytalan
Nóvák	Spirál, szabálytalan
H II-területek átmérője	Spirál, szabálytalan
Gömbhalmazok	Valamennyi
Csillagasszociációk	Spirál, szabálytalan
H II-területek luminozitása	Spirál, szabálytalan
Szupernóvák	Valamennyi
Galaxisok U-B színindexe	Elliptikus
Galaxisok integrált fényessége	Spirál, szabálytalan
Galaxisok átmérője	Spirál
Radiális sebesség	Valamennyi
Galaxishalmazok legfényesebb tagjai	Halmazok elliptikus galaxisai

1. táblázat: Néhány extragalaktikus távolságmérési eljárás [Marik 1989: 776.o.]

## IV. Az időskálák közötti kezdeti konfliktus és annak főoldódása

### IV.1. Az időskála-probléma

Hubble az 1929-es tanulmányában H értékét 500 km/sMpc-es nagyságrendbe helyezte, ezzel az Univerzum életkorára 2 milliárd év adódna. Ez az érték azonban már akkor sem volt elfogadható. Radioaktív anyagokat felhasználó kormeghatározással ugyanis már a század elején legalább 4 milliárd évben állapították meg a Föld és a Naprendszer korát. 1935 és 1965 között a csillagfejlődési elméletek is gyökeres változásokon mentek át. A csillagászoknak lehetőségük nyílt arra, hogy megbecsüljék a csillagok életkorát, és megtalálhassák a Tejúrendszer legidősebb csillagait a gömbhalmazokban, ezáltal alsó becslést adva galaxisunk életkorára. Ezek a mérések egyelőre elég nagy szórást mutattak, de a legkisebb érték sem volt soha 10 milliárd év alatt, sőt, néha a 20 milliárd évet is elérte. Ha ezeket az eredményeket összehasonlítjuk a Hubble által megadottal, ez utóbbi zavarba ejtően kicsinek tűnik. Hubble jelentős hírneve - s az empirikus kutatás területén neki tulajdonított szakértelem - miatt azonban szóba sem jöhettet számításainak bírálata - legalábbis az ő idejében. [V.ö.: [4] ]

A fentieket a természettudósok a múlt század 30-as és 40-es éveiben a geológiai, az asztronómiai és a kozmológiai időskála összeütközéseként éltek meg. A kor természettudománya számára – a tudomány empirista orientációjú öntudatának megfelelően – minden időskála empirikus megfigyelésekkel levont, empirikusan szilárdan megalapozott – a Bécsi Kör filozófiai terminusának megfelelően „verifikált”, illetve „jól konfirmált” – értékeken alapult. Mivel azonban egy racionalisztikus természettudományban a „világgyetem” – vagy akár csupán a Napot és a Tejtrendszert magában foglaló nagyobb kozmikus egység – nem lehet határozottabban fiatalabb mint maga a Föld vagy a Nap, nyilvánvaló, hogy itt az egységes természettudományos világmagyarázat szempontjából tarthatatlan ellentmondás keletkezett. Azonban mégsem az történt, hogy ez az ellenmondás az azt magában foglaló elmélet elvetését eredményezte volna – mint ahogy ennek a verifikációelmélet vagy a popperi filozófia alapján történne kellett volna –, hanem a kortárs relativisztikus kozmológia megbékélte ezzel az ellentmondással, s zavartalanul folytatta tovább kutatásait. Ez pedig párhuzamba állítható Lakatos Imrének a Bohr-féle atomelmélettel kapcsolatos elemzésével, amikor is azt mutatja be, hogy egy tudományos kutatási program fejlődhet logikailag inkonzisztens alapokon, s így mítosz – s egyben káros – a tudomány szempontjából a logikai konzisztencia túlhangsúlyozott metodológiai követelménye [Lakatos 1970: 140-154. o.]. A dolog további érdekessége azonban, hogy semmiféle jelentős törekvés vagy program nem fogalmazódott meg ezen fölöldás irányában: sem a lakatosi értelemben vett segédhypotézisek kidolgozására nem történtek kísérletek, sem pedig az empirikus mérések kontrolállásának szükségessége nem vetődött fel. Az uralkodó relativisztikus kozmológiai paradigma képviselői az időskálák ellentmondását többnyire megmásíthatatlan faktumként fogták föl, hasonlóképpen ahhoz, ahogy a középkorban Aquinói Szent Tamás ilyennek tekintette a ptolemaioszi matematikai kozmológiai rendszer és a kozmosz arisztotelészi fizikája közötti ellentmondást. Miképpen a kor teoretikus kozmológiájának – és ugyanakkor csillagászatának – meghatározó személyisége, De Sitter írta 1932-ben: „*Úgy tűnik, nincs kiút ebből a dilemmából. Együtt kell élnünk a paradoxonnal: más az atomok, más a csillagok világa, és más az egyetemes kozmológia.*” [De Sitter 1932: 132. o.] (Két említésre méltó kivétel a standard relativisztikus kozmológián belül: az Einstein-féle statikus kozmosz időtlen állapotából induló Eddington-féle táguló modell és Lemaitre „tétovázó” modellje, melyeknek azonban nem akadtak követői. S persze alternatíváként vetődtek föl a nem-standard elképzélések a fényfáradásról, majd később az állandó állapotú világgyetemről.) *Annak háttérében, hogy az időskálák konfliktusát a kortárs relativisztikus kozmológia faktumként kezelte, az elmélet és az empiria elválaszthatatlanságának dogmája, és a kísérleti – illetve megfigyelési – vizsgálódások eredményeként adódó számértékek megmásíthatatlan empirikus „adott”-ként történő kezelése hizódott meg* – még akkor is, ha ez a gyakorló természettudósok esetében többnyire nem volt kifejezetten vagy tudatos. *A tapasztalat elméleti terheltségének tudományfilozófiai tétele ugyanakkor az időskálák ellentmondásának hatására logikusan ráirányíthatta volna a figyelmet azon mérési eljárásokra és azok elméleti előföltevésére és kontextusára, azok újra elemzésére és esetleg szükséges korrekciójukra.* Ez a lehetőség azonban az ellentétes meggyőződésű empirista jellegű közfelfogás miatt – melynek részét képezte Hubble-nek mint empirikus kutatónak már említett tekintélye, valamint a világ akkori legnagyobb teleszkópjába, mint hatékony empirikus mérőműszerbe vetett bizalom – nem vetődött föl, s így a probléma egy lehetséges kezelési irányra eleve észrevéten maradt. Másrészt viszont a relativisztikus kozmológiába, mint hatékony és gyümölcsöző „kutatási program”-ba vetett hit következtében az általuk empirikusan adottnak vett eredményekből eredő konfliktust sem nem a Bécsi Kör, sem nem a Popper vagy Lakatos szerint elvártaknak megfelelően kezelték, hanem beletörödtek az ellentmondásba: *egyik oldalról az empirikus adott mítosza, másik oldalról az elméletbe vetett bizalom eredményeképpen az empirikus adott*

*adottsága mintegy az időskálák konfliktusának metafizikai jellegű faktumként történő elfogadásába transformálódott.*

#### **IV. 2. A revízió**

A változás azonban végül mégiscsak az „empirikusan adott”-ban jelenlévő elméleti terheltség revíziójával történt. Ez azonban csak jó húsz évvel később, s nem tudatos kutatás révén valósult meg, hanem a technikai fejlődés és a háborús körülményekből adódó véletlen együttese eredményezte azt.

Az első fontos felfedezés, amely elindította azt a folyamatot, mely a Hubble-féle megfigyelések elméleti hátterének revízióját és a Hubble-állandó értékének meghatározásával kapcsolatos számítások korrekcióját (s ezáltal az időskálával kapcsolatos akut ellentmondás földoldódását) vonta maga után, az Egyesült Államokban a II. világháborúban dolgozó *Walter Baade* nevéhez fűződik. Baade ugyanazt a 100 inches teleszkópot használta, mint Hubble, de a megfigyelés körülményeit előnyösebbé tette a háborús időkben szokásos elsötétítés. Így sikerült csillagokat azonosítania az Androméda-galaxisban ott, ahol Hubble annak idején csak bolyhos ködösséget láthatott. Baade megfigyeléseinek eredményeként felfedezte, hogy a csillagokat két nagyobb csoportra lehet osztani. Az ún. I. populációs csillagok forróak, kék színűek, és általában a galaxisok spirálkarjaiban találhatóak, a II. populációba soroltak vörösebb színűek és alacsonyabb hőmérsékletűek. Ez utóbbiak főleg a galaxisok középső területein és a haloban\* lévő gömbhalmazokban vannak. Baade a csillagfejlődés menetének ismeretében helyesen kikövetkeztette, hogy az I. populációs csillagok fiatalabbak II. populációs társaiknál. Arra is rájött, hogy a cefeidák között is van különbség, ezek is két különböző típusba sorolhatók. Új, 200 inches távcsövével meghatározta ezek eltérő periódus-fényesség relációját is. [V.ö.: Baade 1956; Baade 1958; [4] ]

Hubble egyik hibája abból eredt, hogy ő a II. populációba tartozó cefeidákra vonatkozó összefüggést használta fel távolságmérésre - ilyeneket észlelhetett a Tejútrendszer halojában is - de az Androméda-galaxisban csak a fényesebb, I. populációs cefeidákat tudta elkülöníteni, így akaratlanul is hibás eredményeket kapott a rossz elméleti háttér miatt. Az új felfedezés segítségével elkerülhető lett ez a hiba, az Androméda-köd becsült távolsága pedig jelentősen - mintegy a kétszeresére - növekedett. Ez megváltozatta a Hubble-állandó addigi ismert értékét is, mivel ez az objektum fontos összehasonlító tag szerepét tölti be az extragalaktikus távolságmérésben. Az Androméda-ködöt tehát kétszer olyan nagy távolságra helyeztük, így a többi galaxis távolsága is hasonló mértékben változott meg, ami magával hozta H értékének ennek megfelelő csökkentését. [V.ö.: [4] ]

Az újabb empirikus vizsgálódások alapján tehát végül a természettudományos kontextusban is megjelent az addig gyakorlatilag empirikusan adott, megmásíthatatlan

---

\* A halo és Az 1980-as évek és a Hubble-állandó című részben felbukkanó bulge kifejezés magyarázatához itt szükséges a galaxisok szerkezetének rövid ismertetése. Ezen objektumokat két nagy szerkezeti egységre, a korong és a szferoid részre tagolhatjuk. A galaxisok korongja tartalmazza a spirálkarokat és küllőket (az irreguláris galaxisokban csomós a fényességeloszlás, nem követi a spirális jelleget), a szferoid a galaxis magjából, a halóból és a bulge-ból áll. A bulge tulajdonképpen az az oldalnézetből láthatóan kiemelkedő rész, ahol a csillagpályák nincsenek annyira egy síkban, mint a korongban. A gömbhalmazok is e körül helyezkednek el. A halo egy gömbszimmetrikus rész a galaxisok körül, amely magányos csillagokat és gömbhalmazokat tartalmaz, továbbá itt vannak a galaxisokat szimmetriásíkjukban gyűrűként körülölelő hidrogénfelhők is.

tényként kezelt adatokban jelenlévő elméleti meghatározottság; s a bennük megjelenő, velük szorosan összefonódó elméleti előföltevéseknek az újabb megfigyelési eredményekkel való összevetése nyomán revízió alá kerültek ezek - a relativisztikus paradigmától és a világegyetem korára vonatkozó elméletektől egyébként független, hozzájuk képest szuverén - előfeltevések.

A távolság-meghatározások által adódó értékekbe beleszövődött elméleti mozzanatok ezen revíziója ugyanakkor nem tisztán elméleti jellegű – s különösen nem tudományfilozófiai jellegű – volt, hanem az újabb empirikus vizsgálatok eredményei váltották ki: e revízióban is a tapasztalat és az elmélet sajátos összjátékát figyelhetjük meg.

*A tudományfilozófiai háttér ezen összefüggésben annyiban volt jelentős, hogy a nem tudatos, rejtett empirista dogmák akadályozták az olyan irányú megfontolásokat, amelyek tudatosan és jóval korábban is elindíthatták volna a végül korrekciókhöz vezető vizsgálódásokat.* Ebből értelemszerűleg következik, hogy a tapasztalat és az elmélet elválaszthatatlanságával kapcsolatos tudományfilozófiai álláspont az adott összefüggésben éppen az ilyen – valójában csak jó húsz évvel később kibontakozó és eredményre vezető – törekvéseket és vizsgálódásokat segíthette volna.

## V. Az 1960-as és '70-es évek kutatásai [Tammann 1973: 47-53.o.; [4] ]

Az eredendő és súlyos időskála-konfliktus föloldódása nem jelentette azt, hogy a kozmikus és a különböző csillagászati idődimenziók teljes összhangba kerültek volna. Ugyanakkor az eredendő konfliktus föloldódása azzal a tanulsággal szolgált, hogy egyrészt nem kell megadóan beletörödni az ilyen ellentmondásokba, másrészt pedig újra és újra meg kell vizsgálni azokat az elméleti alapokat és közmegegyezéseket, amelyeken a galaxisok távolságmeghatározása nyugszik. *Az időskálák ezen első revíziójának története – anélkül, hogy ez tudományfilozófiai terminológiákban megfogalmazódott volna – módszertanilag tudatosította a csillagászokban és a kozmológusokban, hogy nem szabad elfeledkezni arról: a távolságmeghatározások eredményei – ha empirikus eredetűek is – nem a tisztán empirikusan adottal szolgálnak, hanem elméleti feltevéseken nyugszanak, amelyre ezért újra és újra kritikailag reflektálni kell.* E felismerés pedig egyrészt a távolság-meghatározási módszerek folyamatos elméleti elemzéséhez, valamint a galaxisok távolságának újabb és újabb szisztematikus vizsgálatához vezetett, melynek során immár az empirikus eredmények kiértékelése szorosan összefonódott a meghatározási módszerek, s a bennük rejlő elméleti feltevések kritikai elemzésével. Ennek nyomán pedig immár tudatosan sor került néhány ismert távolságmérési eljárás felülvizsgálatára.

A következő jelentős finomítás a Hubble-állandó értékén már a fenti szellemben történt, és az amerikai Allan Sandage nevéhez fűződik. Sandage folytatta a Baade által megkezdett munkát Baade 200 inches teleszkópjával és felfedezte, hogy egyes objektumok, melyeket eddig fényes csillagokként azonosítottak, valójában egy vagy több csillag fénye által megvilágított H II régiók. Ez a tény ismét módosította az Univerzum általunk ismert méreteit, és a Hubble-állandó értékét is. Az 1970-es évek közepén Sandage arra is rájött, hogy néhány csillag, amelyet Hubble távolságméréshez használt, valójában nem is olyan fényes, mint azt annak idején gondolta, ami ismét korrekciót tett lehetővé az említett értékek körében.

Mint már jeleztük, ugyanebben az időszakban sor került néhány eddig használt távolságmérési eljárás felülvizsgálatára, pontosabbá tételere is. Így felismerték, hogy az alapvető távolságmutatóval szolgáló csillagászati objektumok változó tulajdonságokat mutatnak nemcsak az öket tartalmazó galaxis típusától függően, hanem annak luminozitásának függvényében is. Ennek a jelenségnek a vizsgálatát nehezítette, hogy a cefeidák felhasználásával ismert távolságban lévő galaxisok kis vagy közepes méretűek voltak, míg a távolabbiak esetében feltételezni lehetett, hogy óriás vagy szuperioriás galaxisokkal állunk szemben.

Az új felfedezések leginkább három távolságjelző objektumtípussal álltak kapcsolatban. Hubble és Humanson már 1931-ben jelezte, hogy lennie kell valamilyen luminozitási összefüggésnek a fényes óriáscsillagok és az öket tartalmazó galaxisok között, de ezt a feltételezést a kevés rendelkezésre álló távolságadat miatt nem tudták igazolni. A határozott összefüggést a legfényesebb kék csillagok és azok szülőgalaxisának luminozitása között megerősíteni csak tökéletesített fotometriai eljárásokkal lehetett, melyeket ismert távolságban lévő spirál és irreguláris galaxisokkal végeztek. Az eredmények szerint a fényes kék szuperioriások abszolút magnitúdója törpe és irreguláris galaxisokban eléri a -7.5 magnitúdós értéket, míg a nagyobb szuperioriás spirálisokban akár a -10 magnitúdót is. Azt azonban nem szabad elfelejteni, hogy ezek az értékek tulajdonképpen statisztikai számítások eredményei is.

A másik 1960-as és '70-es évekhez fűződő felfedezés, hogy a spirál és irreguláris galaxisokban lévő nagyobb H II régiók átmérője is összefüggésben van azok szülőgalaxisának luminozitásával, már amennyiben ezt cefeida távolságmérésekkel meg lehetett állapítani. Ebben a felismerésben is jelentős szerepe volt statisztikai eljárásoknak, de alátámasztotta Hodge korábbi, 1967-es eredményét, aki azt találta, hogy a H II régiók mérete a spirálgalaxisokban arányos a galaxisok luminozitásával. Azonban van egy nyilvánvaló hátránya, ha így akarnánk meghatározni egy galaxis távolságát: annak luminozitását és legnagyobb H II régióinak méretét nem ismerhetjük mindaddig, amíg a galaxis távolsága nincsen valamilyen más módszerrel meghatározva. Ezen akadály leküzdésében nagy szerepet játszott *Van den Bergh* munkája, ainek nevéhez - többek között - a távolságtól független galaxis - luminozitási osztályok megalkotása fűződik.

A harmadik távolságmutató objektumtípus, melynek vizsgálatával új eredmények születtek, a gömbhalmaz. Ezek segítségével a Sandage által 1968-ban publikált Hubble-állandó értéke kb. 75 km/sMpc lett. Ezt úgy kapta, hogy összehasonlította a Tejúrendszer és az Androméda-köd legfényesebb gömbhalmazait az M87 jelű, Virgo-galaxishalmazba tartozó elliptikus galaxiséval. Hozzáfűzte azonban, hogy a kapott érték kisebb is lehetne, ha az M87 gömbhalmazai kivételesen fényesnek bizonyultának. Az összefüggést a halmazok és azok galaxisainak luminozitása között de Vaucouleurs 1970-es mérése is megerősítette, habár ő nyílt - és gömbhalmazokat egyaránt használt, és az effektust meg tudta magyarázni mintavétele statisztikai következményeként.

Mindezeket az eredményeket felhasználva Sandage és Tammann az 1970-es évek elején széles körű vizsgálatot indított a Hubble-állandó értékének minél pontosabb meghatározására. A vizsgálat több fő lépésben történt.

1.: Öt, a Lokális Rendszerhez tartozó galaxis (Nagy Magellán Felhő, Kis Magellán Felhő, M33, NGC 6822 és IC 1613) távolságát határozták meg a cefeidák újrakalibrált periódus-fényesség-(harmadik paraméter) relációjának felhasználásával. Ugyanígy

cefeidákkal és öt, az M81 csoporthoz a tartozó galaxis segítségével mérték meg a szintén ide sorolható NGC 2403 jelű galaxis távolságát is, felhasználva, hogy független mérésekkel igazolhatóan az M81 csoport tagjai hasonló távolságokban vannak. Ezt a 11 galaxist a további mérések alapköveinek tekintették.

A cefeidákat tanulmányozva már ekkor rájöttek, hogy a különböző galaxisokban található változócsillagok más kémiai összetétele és ebből következően a csillagfejlődés egyes szakaszaiban mutatkozó tulajdonságaik kihathatnak a mérések pontosságára, így fontos szerep jut más távolságjelző objektumoknak - pl. az RR Lyrae változóknak - amelyek ellenőrzési lehetőséget biztosítanak a cefeida távolságértékekre vonatkoztatva.

2.: A már említett 11 galaxis megadta az összefüggést a H II régiók mérete és az öket tartalmazó galaxisok luminozitási osztálya között.

3.: Ugyanígy megerősítést nyert velük a kék csillagok fényessége és a szülőgalaxisok abszolút magnitúdójá közti összefüggés.

4.: A legközelebbi szuperóriás Sc típusú galaxis, az M101 távolságát hat különböző módszerrel is meghatározták (köztük a 2. és 3. lépésben foglaltakkal). A távolságméréseket jelentősen megkönnyítette, hogy az M101-nek öt, az összehasonlító galaxisuktól méretben nem sokkal különböző kísérőgalaxisa is van. A kapott eredmény mintegy kétszer olyan nagy távolságot mutatott, mint a korábbi adatok. Az M101-hez kapcsolódó mérés jelentősége abból is adódott, hogy a 2. és 3. pontban használt módszereket ki lehetett terjeszteni a nagyobb spirálgalaxisokra is, így a fényesség és méret összefüggések a fényes csillagok és a H II régiók között a különböző típusú galaxisok szinte teljes körében alkalmazhatók lettek, a törpegalaxisuktól egészen a szuperóriás Sc galaxisokig.

5.: Meghatározták 40, ismert luminozitási osztályba tartozó galaxis H II régióinak méreteit. Az egyes objektumok távolsága a második pont alapján lett ismert.

6.: Felhasználva az 1., 4. és 5. pontban kapott távolságértékeket, megkapták a különböző luminozitási osztályokhoz tartozó közepes abszolút magnitúdókat.

7.: Kiválasztottak 50 távoli, Sc típusú galaxist 13 és 15.5 -ös látszó magnitúdóértékek között, és megmérték azok vöröseltolódását.

8.: Összevetve a 7. pontban meghatározott magnitúdó - és sebességértékeket a 6. pontban kapott abszolút magnitúdókkal - korrekciók után - a Hubble-állandó értékét  $55 \pm 7$  km/sMpc-ben állapították meg.

A mérés során olyan galaxisokkal dolgoztak, melyeknek távolodási sebessége nagyobb, mint 4000 km/s, így nem kellett számolniuk azokkal a korrekciós tényezőkkel, melyeket a helyi gravitációs hatás tett volna szükségessé a sebességértékekben. minden - a kor eszközeinek megfelelő - precizitás ellenére azonban Sandage-nek számos alkalommal kellett vitába szálnia a csillagászok újabb generációjával, akik a Hubble-állandó nagyobb valószínűsíthető értéke mellett érveltek. Az első ilyen ütközötet *Gerard de Vaucouleurs* kollégájával víta meg. De Vaucouleurs az 1970-es és '80-as években dolgozott aktívan a probléma megoldásán, és arra a következtetésre jutott, hogy H értékét valahol 90 és 100 km/sMpc között kell keresni. Ez igen jelentős szemléletváltozást jelentene az eddigiekhez viszonyítva, hiszen Tammann 1973-as értékelése szerint még nem lehet teljesen elutasítani,

hogy a Hubble-állandó értéke kisebb legyen 50 km/sMpc-nél, de nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy amíg 1936 és 1958 között H értéke 530-ról 75-re csökkent - mintegy a hetedére -, addig a változás az ezt követő 15 év alatt mindössze 1.4-szeres volt.

Az ezt követő évtizedben aztán egyre inkább két csoportra lehetett osztani a kutatókat aszerint, hogy mely távolságmérési eljárásokat fogadtak el hitelesebbnek és alkalmaztak a Hubble-állandó kiszámításánál. E szerint voltak, akik az 50 km/sMpc körüli H értéket, míg mások a 70-80-90 km/sMpc -es Hubble-állandót támogatták. Következzen tehát néhány eredmény ebből az időszakból is.

Forrás	Év	H értéke (km/sMpc)
Sandage és Tammann	1974	55.5±8.7
S. van den Bergh	1975	95(+15, -12)
Tully és Fisher	1976	80
D. Linden - Bell	1977	110
P. J. E. Peebles	1977	33...85
V. Visvanathan és Sandage	1977	49.3±4
G. de Vaucouleurs	1979	100±10
Jr. R. C. Kennicutt	1979	65

2.táblázat: Változatok a Hubble-állandóra a '70-es években [Marik 1989: 776.o.]

## VI. Az 1980-as évek és a Hubble-állandó [Van den Bergh-Terndrup-Tully 1988]

A korszak gyakran idézett kutatója, Sidney van den Bergh egyik publikációjában kissé más oldalról közelítette meg a kérdést, mint eddig megszoktuk: gömbhalmazok életkorának meghatározásával adta meg, mennyinek kellene lennie a Hubble-állandó értékének különböző kozmológiai modellekkel felhasználva. Szerinte, ha a csillagfejlődésre vonatkozó számításokat hitelesnek fogadjuk el, a gömbhalmazok életkora 14 vagy 18 milliárd év lehet, attól függően, hogy mennyi fémes elemet tartalmaznak a halmazt alkotó csillagok (a szerzőt főleg az oxigén és vas mennyisége érdekelte). Ez előbbi érték esetén  $H \leq 65$  km/sMpc lenne, amennyiben a standard Big-Bang kozmológiai elmélet helyes ( $\Lambda=0$ ). Ha a nagyobb életkort fogadjuk el hitelesnek, a Hubble-állandó értékének kisebbnek kellene lennie 46 km/sMpc-nél. Van den Bergh szerint a gömbhalmazok életkorára adott becslés kisebb lehetne, és így H nagyobb értéket vehetne fel, ha többet tudnánk az azokat alkotó II. populációs csillagokban zajló vagy már lezajlott kémiai változásokról, azonban csak a kozmológiai konstans ( $\Lambda$ ) nem vesz fel nullától különböző értéket, a Hubble-állandó nem lehet nagyobb 75 km/sMpc-nél. Van den Bergh igyekezett olyan hatásokat, módszereket találni, amelyekkel be lehet bizonyítani, hogy a gömbhalmazok korát eddig túlbecsülték - talán elég jelentős mértékben - felhasználva az asztronómiai csillagok fejlődésére vonatkozó modellekben történt finomításokat (később bebizonyosodott, hogy a gömbhalmazok valóban fiatalabbak az eddig elfogadottnál - lásd a Hipparcos eredményeiről szóló részt).

Hivatkozik Tayler 1986-os munkájára, melyben - szerinte - a szerző egy igen tetszetős leírást adott a gömbhalmazok kora, a Hubble-állandó és  $\Omega$  értéke\* között lévő kapcsolatról. Tegyük fel például, hogy  $\Omega = 1$ . Ekkor, ha elfogadjuk a csillagfejlődésre vonatkozó számítások hitelességét, a gömbhalmazok kora 13 és 18 milliárd év közé esik (a tág intervallum leginkább a modellekben lévő nagyszámú bizonytalan tényezőnek róható fel). Ebben az esetben  $H$  alsó és felső értéke 34 és 48 km/sMpc lehet. Ha ehelyett  $\Omega = 0.1$ -el számolunk, a Hubble-állandónak valahol 44 és 63 km/sMpc között kell lennie. Van den Bergh személyes véleménye szerint a gömbhalmazok életkorának felső határa 14 milliárd év körül van, amiből  $\Omega = 1$  esetén  $H$  értékére 43 km/sMpc, nullához közelítő  $\Omega$  esetén 60 km/sMpc várható.

Másik oldalról megközelítve a gömbhalmazok jelentőségét: ha meg lehetne mutatni, hogy a Hubble-állandó értéke elégké kicsi, nem lenne probléma ezt összeegyeztetni a nagyobb gömbhalmaz-életkorokkal, és levonhatnánk azt a következtetést, hogy a Világgeyetem leírható a standard kozmológiai modellekkel. Másfelől viszont lehet, hogy a későbbiekben nagyobb értéket kapnak  $H$ -ra, mint mondjuk 75 km/sMpc, mely így összeütközésbe kerülne a gömbhalmazok korával, hacsak nem feltételezünk egy nullától különböző kozmológiai konstanst.

Eddig még nem ismertetett eljárással, a Tejútrendszer ún. bulge részének felhasználásával is lehet következtetni a Hubble-állandó értékére. Dressler 1987-ben ismertetett egy új eljárást a galaxisok közti relatív távolságok meghatározására, amely a "Dn -  $\sigma$ " módszer néven vált ismertté. (Dn a bulge látszó átmérőjét,  $\sigma$  a központi sebesség szórást jelöli.) Ezt az összefüggést Dn és  $\sigma$  között tapasztalati úton fedezték fel a Virgo-halmaz spirálgalaxisainak vizsgálatakor. Az M81 és M31 jelű galaxisokat felhasználva a Dressler által kapott  $H$  érték  $67 \pm 10$  km/sMpc lett.

A Dn -  $\sigma$  reláció finomítására használta fel a Tejútrendszeret *D. M. Terndrup*. Meghatározta  $\sigma$  értékét, majd ezen összefüggést felhasználva kiszámolta, mekkora lenne galaxisunk átmérője, ha azt a Virgo-halmaz távolságából vizsgálhatnánk. Összehasonlítva a bulge észlelt méreteit ezzel a fiktív adattal, meghatározható a galaxisunk középpontja és a Virgo-halmaz közötti relatív távolság. A bulge-ban található K színképtípusú óriáscsillagokra vonatkozó  $\sigma$  értéket Terndrup előtt már többen is meghatározták, pl. 1988-ban Rich erre 88 csillag radiális sebességének vizsgálatával  $104 \pm 10$  km/s -ot kapott. Szintén 1988-as érték Freeman eredménye, akinél  $\sigma = 128 \pm 7$  km/s lett. Több mint 300 ilyen K típusú csillag asztrometriai analízisével ismert volt még egy  $\sigma = 122 \pm 11$  km/s -os érték is. Terndrup új fotometriai eljárással vizsgálta a Tejút bulge részét, és azt találta, hogy az sokkal fényesebb és sűrűbb, mint eddig gondolták. Méréseinak eredménye  $Dn = 15.3^\circ$  lett, és a bulge eddigi, de Vaucouleurs és Pence által becsült 2.5 kpc -es sugara helyett Terndrup 1 kpc-et kapott. A sebességértékeket még korrigálni kellett a Virgo-halmazhoz viszonyított mozgásunk következtében, így a Hubble-állandó értéke Terndrup számításai szerint  $51 \pm 10$  km/sMpc és  $56 \pm 10$  km/sMpc között kell hogy legyen.

Érdemes megemlíteni még egy harmadik eredményt, amely *R. Brent Tully* nevéhez fűződik. Ő megpróbálta a Hubble-állandó kiszámításánál figyelembe venni a galaxisok mozgási sebességében mutatkozó esetleges helyi anomáliákat is. Ennek vizsgálatára a legközelebbi, Virgo és Ursa Maior galaxishalmazokat használta fel. A mozgási sebességekben

---

\*Ω a Világgeyetem tényleges és kritikus - a tágulás megállításához szükséges - sűrűségének arányát jelöli.

mutatkozó változások teljes magyarázatáról beszélni Tully véleménye szerint még idő előtti lenne, ő a publikájójában csak ennek esetleges hatásait írta le a Hubble-állandó meghatározásában. Szerinte, ha a helyi anomáliák létezése megcáfoltat, akkor  $H$  értéke 60 km/sMpc körül mozoghat. Azonban ha elfogadjuk az ő eredményeit, és azt, hogy a Malmquist-effektus\* elhanyagolható, akkor a Lokális Szuperhalmaz környezetében az aktuális tömegeloszlástól és az ebből eredő tömegmozgásoktól függően a Hubble-állandó értéke elérheti akár a 85-95 km/sMpc-et is.

A következő évtized és napjaink kutatásainak ismeretében úgy tűnik, hogy az eddigiekkel ellentétben egyre inkább egy érték elfogadása felé közelítenek a téma szakértői. Egy igen izgalmas korszakba léptünk, ahol egyszerre alkalmazzák a szinte évszázados múltra visszatekintő cefeida periódus-fényesség relációt és a legmodernebb eljárásokat, pl. már megpróbálhatunk gravitációs lencsék és mikrohullámú sugárzásokban fellépő szinte mérhetetlen torzulások segítségével számolni. Egyre fejlettebbek a rendelkezésre álló eszközök - gondoljunk például a Hubble-űrtávcsöre, vagy a vele versenyt felvező egyre nagyobb földi távcsövekre - melyek számtalan kutatócsoportnak biztosítanak lehetőséget eredmények felmutatására. Következzenek tehát a '90-es évek és a jövő kutatásai.

Forrás	Módszer	$H$ értéke (km/sMpc)
Branch	Szupernóvák	$57 \pm 10$
Huchra	Galaxisok vöröseltolódása és cefeidák	88
Melnick	H II régiók	$87 \pm 10$
Pierce	Tully-Fisher reláció	$84 \pm 11$
Pritchett és Van den Bergh	Nóvák	$69 \pm 14$
Tammann	Többféle módszer	$51.8 \pm 5.1$
Terndrup	A bulge mérete	$55 \pm 10$
Tully	Tully-Fisher reláció	$\approx 90$
Salucci és Frenk	Tully-Fisher reláció	$76 \pm 9$
Willick	Tully-Fisher reláció	91

3.táblázat: Néhány Hubble-állandó érték a '80-as évekből [Van den Bergh, Sidney - Pritchett, Christopher J. (szerk.): *The Extragalactic Distance Scale*, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Volume 4, 1988, 377.o.]

## VII. "Az igazság odaát van, és mi meg fogjuk találni!"<sup>2</sup>

\* A Malmquist-effektust először 1924-ben határozták meg, mint a hibák szisztematikusan előforduló forrását. E szerint a katalógusokban feltüntetett galaxisok luminozitási értékei növekedtek a távolsággal, mivel a fényesebb galaxisokat nyilvánvalóan könnyebb volt észlelni. Így a számítások a valódi luminozitást tekintve hibára támaszkodtak, ahogy az objektumok távolsága nőtt a kiindulási ponthoz képest. Ha ez az effektus korrigálhatlan marad, magasabb  $H$  érték kapható, ezért célszerű annyi távolságmérési eljárást alkalmazni, ahányat lehet, hogy minél jobban megközelítük a Hubble-állandó valódi értékét.

<sup>2</sup> Idézet Dr. Robert Kirshnertől, a Hubble Key Project egyik résztvevőjétől.

## VII. 1. Néhány konkrét megfigyelés eredménye a '90-es évekből

1992-es az a publikáció, amely egy kellemesen alacsony Hubble-állandót adó mérést ismertet. Az 1937-es Ia típusú szupernovájáról ismert IC 4182 spirálgalaxis távolságának körülbelüli értéke régebbi mérések alapján kb. 16 millió fényév volt, ami azt jelenti, hogy ez a galaxis már kívül esik a Lokális Rendszeren. A Hubble Űrteleszkóp segítségével azonban lehetővé vált, hogy ennél pontosabb távolságértéket is megadhassunk. Az Űrtávcsővel sikerült felvenni a galaxisban lévő 24 cefeida fénygörbékét, így az ismert periódus-fényesség reláció segítségével pontosan meghatározhatóvá vált az IC 4182 távolsága. Ebből a Hubble-állandó értéke  $45 \pm 9 \text{ km/sMpc}$ , az Univerzum életkora pedig 15 milliárd év. [Patkós 1994: 143.o.]

A következő mérés nem a HST érdeme, kiegészítő észlelések ugyanis folytathatók a Földről is. Köszönhetően az egyre fejlettebb optikai eszközöknek, a legnagyobb földi távcsövek már képesek lettek felvenni a versenyt az időközben megjavított Űrtávcsővel is, mint például az alábbi mérésben résztvevő Mauna Kea Obszervatórium 3.6 m-es Kanadai-Francia-Hawaii Teleszkópja. A kísérlet célpontja a Virgo-galaxishalmazban lévő NGC 4571 galaxis lett, mivel ennek elhelyezkedése előnyös a megfigyelések szempontjából (a főlkja merőleges a látóirányra). Így viszonylag könnyen lehetett benne változócsillagokat - és ami fontos, cefeidákat - találni. Sok ezer jelöltet kísértek figyelemmel, míg végül sikerült három cefeidát minden kétséget kizárában azonosítani, majd a már jól bevált periódus-fényesség összefüggést felhasználva megkapni a galaxis távolságát, amire  $14.9 \pm 1.2 \text{ Mpc}$  adódott.

Kérdéses volt még, hogy az NGC 4571 valóban a Virgo-halmazban van-e, azonban több okból is igen megalapozottnak tűnik, hogy a galaxis valahol a halmaz középpontja környékén lehet. Erre utal, hogy viszonylag kevés benne a semleges hidrogénfelhő, ami sorozatos galaxisütökzések következménye lehet, illetve a galaxis radiális sebességének értéke. Így tehát a kapott távolságot tekinthetjük a Virgo-halmaz távolságának, és a halmaz vöröseltolódás alapján ismert átlagos távolodási sebességének felhasználásával meghatározhatóvá vált a Hubble-állandó értéke, ami  $87 \pm 7 \text{ km/sMpc}$  lett. Ezzel azonban az a baj, hogy az általunk használt kozmológiai modellekre alkalmazva az Univerzum korára  $7.3 \pm 0.6 \text{ milliárd év}$  adódna, ami seholgyan sem egyeztetethető össze a megfigyelésekkel.

Bár a Mauna Keán dolgozó kutatók hasonló távolságeredményre jutottak, mint egy ugyancsak a Virgo-halmazban lévő, az NGC 4571-hez hasonló galaxis esetében az alábbi két csoport, ők mégis minden össze három cefeidát tudtak azonosítani felvételükön, így eredményeik kísérleti jellegünek tekinthetők. [V.ö.: Patkós 1996: 145-146.o.; [2] ]

Időközben tehát az Űrtávcsővel is végeztek hasonló méréseket, a kutatók célpontja itt egy az előzőekhez hasonlóan a Virgo-halmaz középpontjában lévő galaxis, az M100 volt, amelyben 12 cefeida fényességét és periódusát mérték meg (a fénygörbék jobb minőségűek voltak, mint a Föld felszínén az NGC 4571 esetében mértek). Ők az M100 távolságára  $17.1 \pm 1.8 \text{ Mpc}$ -es értéket kaptak. Most következne az, hogy a Virgo-halmaz átlagos távolodási sebességével az előzőek szerint kapnánk egy Hubble-állandó értéket, azonban ebben az esetben a kutatók átgondolták a mérési lépésekét, ugyanis a Virgo-halmaz túl közel van hozzáink, valószínű, hogy a Lokális Rendszer a Virgo irányába mozog. Azonban vannak megbízható relatív távolságmérési módszereink, melyekkel pontosan meghatározták a Virgo és a távolabbi Coma-halmaz távolságának arányát, majd felhasználva ez előbbire a cefeidák

segítségével kapott távolságadatot, meghatározták a Coma-halmaz távolságát is, ami  $94 \pm 10$  Mpc lett. Ezt összevetették ennek átlagos távolodási sebességével, és mindezek után megkapták a  $H = 82 \pm 17$  km/sMpc értéket, ami változatlanul nem egyeztethető össze az Univerzum korára vonatkozó elkövetésekkel. [Patkós 1996: 146.o.]

Végül még egy eredmény az M100-ról. 1994. október 26-án egy a Hubble Űrtávcsővel dolgozó nemzetközi kutatócsoport bejelentette, hogy sikerült minden eddiginél pontosabban meghatározni a Virgo-halmazban lévő M100 jelű galaxis távolságát. A kutatásban résztvevő Dr. Wendy L. Freedman véleménye szerint ennek azért van nagy jelentősége, mert a Virgo-halmazt sok extragalaktikus távolságmérési eljárás alapkövének lehet tekinteni, így a Hubble-állandó meghatározásában is fontos szerepe van. A mérések során természetesen ők is cefeida változócsillagokat használtak fel, amivel az M100 lett az egyik legtávolabbi galaxis, amelynél nagy pontossággal alkalmazták e módszert. A kérdéses távolság  $56 \pm 6$  millió fényév lett, amiből a Hubble-konstans értéke  $80 \pm 17$  km/sMpc. Az észlelések során a Hubble WFPC2 (Wide-Field and Planetary Camera) elnevezésű műszerét használták, mellyel a két hónapos megfigyelési időszak alatt 12, egyórás expozíciós idővel készült felvételen feltételezhetően cefeidakban gazdag területeket örököttek meg. A felvett körülbelül 40.000 csillag között végül találtak 20, ebbe a ritka csoportba tartozó változót, melyekkel a távolságmérés történt. A kutatók szerint azonban az elért eredményekkel nem lehetünk maradéktalanul elégedettek, mivel a Virgo-halmaz környezetében lévő galaxisok nagy tömege hatással van a halmazra. Jobb lenne tehát, ha az M100-nál messzebb lévő galaxisokkal folytatódanak a megfigyelések. [V.ö.: [2] ]

A Hubble Űrtávcsővel az Ia típusú szupernóvákkal történő távolság-meghatározás hívei is észleltek, a célpont ezúttal az NGC 5253 galaxis, és az abban felfedezett cefeidak voltak. Ebben a galaxisban két, bizonyítottan Ia típusú szupernóvát is megfigyeltek korábban (SN 1972E, SN 1895B). A 15 cefeida alapján nyert távolságokból meg lehetett határozni a szupernóvák valódi abszolút fényességét, a látszólagos és az így ismertek tekintett tényleges fényesség összehasonlítása révén pedig kiszámítható lett a Hubble-állandó, melynek értéke  $52 \pm 10$  km/sMpc lett. [Patkós 1996: 146-147.o.]

Végül következzen egy újabb észlelés, amely már a *Hubble Key Project* része volt. A célpont ezúttal a 108 millió fényévre lévő NGC 4603 jelű spirális galaxis, melyben az Űrteleszkóppal legalább 35 cefeida fényváltozását sikerült nyomon követni. A Hubble-állandó értékére a változók segítségével közel  $70$  km/sMpc-et kaptak, 10%-os lehetséges hibával. Ezt összevetve a Világegyetem becsült átlagsűrűségével, az Univerzum korát 12-13 milliárd évben állapították meg. [Meteor 1999/7-8: 18.o.]

## VII. 2. Fejlődés a műszerek terén

1989-ben bocsátották fel a *Hipparcos* asztrometriai műholdat, amely 1993 augusztusában fejezte be tevékenységét a fedélzeti számítógép hibája miatt. Fő célja a mért csillagok pozíciójának, parallaxisának és sajátmozgásának 0.001-0.002 ívmásodperc pontosságú meghatározása volt, de programjában szerepelt az ún. Tycho-projekt végrehajtása is, melynek keretében több mint egymillió csillag fényességének változását kísérték figyelemmel. A hatalmas mennyiségű adat feldolgozáshoz a program vége után még mintegy négy évre volt szükség, eredménye pedig egy 17 kötetes katalógus lett.

A Hipparcos munkájának több kozmológiai vonatkozása is van. A gömbhalmazokat alkotó csillagokhoz hasonló korú és kémiai összetételű csillagok parallaxisának mérésével megállapítható lett, hogy a gömbhalmazok nagyobb távolságban vannak, mint eddig gondoltuk, és valódi fényességük is nagyobb, tehát fiatalabbak az eddig feltételezettnél. A legidősebb csillagok így kb. 11 milliárd évesnek tekinthetők, szemben az eddigi 15 milliárd évvel. Ez megoldaná azt a paradoxont, hogy az Univerzum fiatalabbnak tűnik, mint annak legősibb objektumai. A Hipparcos számos közelebbi cefeidát is kimért, amelyek az eredmények tükrében szintén fényesebbnek tűnnek a vártnál. Így a cefeidakon alapuló Hubble-állandó értékek csökkenthetőnek látszanak. A Hipparcos által módosított gömbhalmaz-életkorokat figyelembe véve becslést lehet adni  $\Omega$  értékére is, amely így a 0.3 körüli érték felé közeledik. [Barcza 1997: 137.o.; Szabados 1996: 132.o.; Szabados 1999: 166-167.o.; [4] ]

Az Egyenlítői Kvazárkutató Csoport (Quasar Equatorial Survey Team - QUEST) azzal a céllal jött létre, hogy nemzetközi összefogással Venezuelában műszereket fejlesszen ki és használjon különböző csillagászati kérdések megoldásához. A kezdeti célok között volt kvazárok és gravitációs lencsék felfedezése és tanulmányozása is a kozmológia számára. A Fázis I elnevezésű, már munkába állított műszer egy 1 méter átmérőjű Schmidt teleszkóp Llano del Hatoban (Venezuela), melynek fókuszában egy 16.2048 X 2048 pixeles CCD kamera található. Ezzel az égi egyenlítő 6°-os környezetében lehet 5°-os mezőket vizsgálni. A Fázis I tulajdonképpen egy előkészítője a Fázis II -nek, amellyel az egyenlítő már 12°-os környezete lesz tanulmányozható, fejlettebb CCD technikával. Szeretnék minél több új halvány kvazárt is találni a gravitációs lencse-hatás tanulmányozásához és a Hubble-állandó meghatározásához. Vizsgálatra kerülne az Univerzum nagyleptékű szerkezete és a sötét anyag kérdése is. A csillagokkal foglalkozó program része pedig új változók és többes rendszerek felfedezése. [ [3] ]

A Szunyajev - Zeldovics effektus tanulmányozásában jelentős segítséget jelenthet a Cosmic Background Imager (CBI), amelyet a kozmikus háttérsugárzás feltérképezésére fejlesztettek ki. Ez sem műhold, hanem egy hat méter magas emelvényen lévő 13 részből álló műszer, amely a 26 és 36 GHz közötti sávban működik. Egy azonnali felvétel látómezeje 44', a felbontása 4.5' és 10' közötti. Kilenc órán át tartó megfigyeléssel a látómező 2° x 2°-os lehet. A CBI 1999 augusztusában Chilébe került, jelenleg az 5000 méteren fekvő, kiváló éghajlati tényezőkkel bíró San Pedro de Atacama műszere. [V.ö.: [1] ]

Ezeken kívül vannak még ígéretes kísérletek - előkészületi fázisban - , mint pl. a NASA MAP (Microwave Anisotropy Probe) és az ESA (Európai Ūrűgynökség) Planck Surveyor nevű missziója. Ezek a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásban lévő fluktuációk feltérképezésére készülnek, és ha a jelenlegi kozmológiai elméleteink helyesek, segítségükkel meghatározható lesz az Univerzum anyagsűrűsége és a Hubble-konstans. Egy harmadik projekt a Sloan Digital Sky Survey nevet viseli, amely tulajdonképpen egy nagyszabású galaxis-térképzési program. Mindezekkel az eszközökkel a várakozások szerint H értéke 2 %-os pontossággal lesz megadható. [V.ö.: [5]; [6] ]

Forrás	Módszer/Műszer	Év	H értéke (km/sMpc)
IC 4182	24 cefeida, HST	1992	45±9

NGC 4571	3 cefeida, Mauna Kea Obszervatórium 3.6 m-es Kanadai-Francia-Hawaii Teleszkópja	1994	$87 \pm 7$
M100	12 cefeida, HST	1994	$82 \pm 17$
M100	20 cefeida, HST	1994	$80 \pm 17$
NGC 5253	15 cefeida, Ia típusú szupernóvák, HST	1995	$52 \pm 10$
QSO 0957+561	gravitációs lencse-hatás, Új-Mexikó 3.5 m-es távcsöve	1996	63
Leo, Fornax, Virgo galaxishal- maz - tagok	7 Ia típusú szupernóva	1996	$68 \pm 6$
NGC 4603	35 cefeida, HST	1999	70

4.táblázat: A '90-es évek néhány eredménye

### VII. 3. A Hubble Key Project [V.ö.: [4]; [5]; [6]; [7] ]

Nyolc évig tartó munka után 1999. május 25-én ért véget a 28 kutatót foglalkoztató Hubble Key Project, melynek vezetői *Wendy L. Freedman* (Carnegie Observatories), *Robert Kennicutt* (University of Arizona) és *Jeremy Mould* (Mount Stromlo and Siding Springs Observatory) voltak. A program fő célja, hogy 10%-os hibával meghatározzák a Hubble-konstans értékét. Ehhez - mint az a projekt nevében is benne van - az Űrtávcső műszereit használták.

A kutatók szándékosan sokféle távolság-meghatározási módszert alkalmaztak, a cefeidákon kívül 5 másodlagos eljárás is fontos szerepet kapott a programban. Első lépésként körülbelül 800 cefeida felhasználásával 18 galaxis távolságát határozták meg az 5 másodlagos eljárás kalibrálásához, és a galaxisok relatív távolságának megismeréséhez. A második lépés galaxisok cefeida-távolságának meghatározása volt a két legközelebbi - Virgo és Fornax - galaxishalmaz esetében, harmadik lépésként pedig célul tüzték ki a hibák megtalálást és kiküszöbölését a cefeida-távolságskálában. Az említett másodlagos eljárások az Ia és a II-es típusú szupernóvákon, a Tully-Fisher relációt és a felületifényesség-fluktuáción alapultak. Ezek már nagyobb távolságokon is alkalmazhatók, mint a cefeida periódus-fényesség reláció, így nem zavarták annyira helyi gravitációs hatások a számításokat. A mérések végső eredménye szerint a Hubble-állandó értéke 70 km/sMpc, a már említett 10%-os hibát feltételezve. 1994-ben az előzetes adat 80 km/sMpc volt a Fornax-galaxishalmaz alapján, ahol szintén cefeidákat vizsgáltak. Ez a halmoz a feltételezések szerint a Virgohoz hasonló távolságban van, mintegy 60 millió fényévnnyire. (Az 1996-ban ideiglenesen közzétett Hubble-konstans értéke egyébként már 68 és 78 km/sMpc között volt.) A kutatás módszereinek, eredményeinek, és a kozmológiára vonatkozó megállapításainak összefoglalása megtalálható az Astrophysical Journal 2001-es 553-as számú kiadásában is (47-72. oldal).

Párhuzamosan a Hubble Key Project munkatársaival egy másik csoport is használta hasonló céllal az Űrtávcsövet, ezt *Allan Sandage* (Carnegie Observatories), *Gustav Tammann* és *Lukas Labhardt* vezette. Sandage és munkatársai az I-es típusú szupernóvákat használták fel, melyekkel mintegy 1000-szer olyan nagy távolságban törtéhet mérés, mint a cefeidákkal.

Ők 1996-ban 57 km/sMpc alatti értéket javasoltak a Hubble-állandóra. A két csoport közti különbség azonban mégsem olyan nagy, mint az eddig néhány kutató eredményei között előforduló akár kétszeres eltérés. A Key Project eredményei alapján az Univerzum 12 vagy 13.5 milliárd éves lehet, attól függően, hogy melyik kozmológiai modellt használjuk ennek kiszámítására. A kutatók jelen esetben egy örökké táguló Világegyetemet feltételeztek. A 12 milliárd éves Univerzum annak felel meg, hogy a tágulás lassul, de a Világegyetemben fellelhető anyag túl kevés ahhoz, hogy ez a lassulás megálljon. A másik Univerzum tartalmaz annyi anyagot és valamilyen szokatlan típusú energiát, hogy a tágulás felgyorsuljon, ahogy azt néhány újabb megfigyelés sejteti.

#### VII. 4. A gyorsulva táguló Univerzum

A Világegyetem sorsára vonatkozó igen fontos felfedezést tett két, Ia típusú szupernóvákkal foglalkozó rivális kutatócsoport. Mind a Saul Perlmutter vezette Szupernóva Kozmológiai Projekt (Supernova Cosmology Project), mind a Peter Garnavich nevéhez fűződő Nagy Vöröseltolódású Szupernóvákat Kereső Csoport (High-Z Supernova Search Team) a Hubble Űrtávcsövet használta fel arra, hogy minél távolabbi ilyen típusú szupernóvákról gyűjtsön adatokat (a távolságrekord objektum csaknem 10 milliárd fényévre volt). Egyértelművé vált, hogy a szupernóvák az öket tartalmazó galaxisok vöröseltolódásából mért értékeknél jóval távolabb vannak. Ráadásul eredményeik ahelyett, hogy megerősítették volna az Univerzum egyre lassúbb ütemben való tágulását, arra mutatnak, hogy a tágulás üteme növekszik. Méréseik alapján a Hubble-állandó értéke 60 km/sMpc körül van, és ha ezt összevetjük H értékét az idők folyamán befolyásoló, az Univerzum tágulási ütemének változásából általuk kapott összetevővel (és figyelembe vesszük a Hipparcos eredményeit), az életkor-paradoxon megoldottnak látszik, a Világegyetem becsült életkora több lehet, mint 14 milliárd év. Eredményeik ugyanakkor sugallnak egy nem elhanyagolható, pozitív kozmológiai konstanst is. Mindez azt jelenti, hogy a Világegyetem örökké tágulni fog.

A felfedezések mellett ugyanakkor valahogy meg kellene magyarázni, hogy ez a gravitáció ellen ható taszító hatás tulajdonképpen micsoda. Perlmutter és munkatársai szerint valószínű, hogy "a téridő szerkezetének a vákuum energiasűrűségből, a kvantumfizikai ingadozásokból eredő eddig feltáratlan ún. sötét energiájáról" van szó. Természetesen a kutatók azt is megvizsgálják, hogy vajon az Ia típusú szupernóvák felhasználhatók-e mérésekre ilyen nagy idő és térbeli távolságokon, és hogy ezeket mennyire befolyásolja a köztünk lévő csillagközi anyag torzító hatása, így ebben a kérdésben további eredmények várhatók. [V.ö.: *Élet és Tudomány*, LIV. évfolyam, 24. szám, 1999. június 11., 739-740.o.; [4]]

	A Hubble-állandó értéke	A gömbhalma-zok életkora	Sűrűség-arány	Egyéb jellemzők
Sandage - modell	50 km/sMpc	$16 \pm 1$ milliárd év	$\Omega = 1$	
de Vaucouleurs/Aaronson modell	100 km/sMpc	$\approx 10$ milliárd év		nyitott Univerzum,

				minden tömeg a galaxisokban van
Fölfúvódó modell	50 km/sMpc	12-13 milliárd év	$\Omega = 1$	sötét anyag uralta Univerzum
A '90-es évek adatai által adott Univerzum	70 km/sMpc	$\approx 11$ milliárd év	$\Omega = 0.3$	gyorsuló tágulás, nullától különböző $\Lambda$

5.táblázat: Variációk kozmológiai modellekre [ [8] ]

A Hubble-állandó utáni hosszan tartó keresés tehát úgy tűnik, belátható időn belül olyan megnyugtatóan pontos eredmény felmutatásával zárulhat, amely nem ütközik az Univerzum életkorára vonatkozó elképzelésekkel, a kutatás során pedig fejlődhettek mind technikai, mind asztrofizikai ismereteink. Azonban soha nem lehetünk maradéktalanul elégedettek, ha valamilyen probléma megoldása során érintenünk kell a kozmológia tárgykörét is. Az Univerzum keletkezésére, jövőbeli és jelenlegi állapotára nézve is rengeteg még a meg nem oldott rejtély - lapozzuk csak fel bármelyik ezzel foglalkozó szakirodalmat -, melyekre sokszor adhatók a fantáziát megmozgató magyarázatok, azonban ezek valóságtartalmának megismerésére többnyire nincsenek meg a lehetőségeink - egyelőre.

Most, hogy a végére ért a probléma történeti szempontból való ismertetése – mely természetesen nem lehet teljes, és nem csak a téma hatalmas mennyiségi fellelhető irodalma miatt, hanem mert kutatások még javában folynak a Hubble-állandó után -, a dolgozat első részében ígértek szerint térjünk vissza ismét a tudományfilozófiához, pontosabban elemezzük eddig megszerzett ismereteink segítségével ebből a szempontból is a problémát.

## VIII. A működő tudomány

Először is határozzuk meg, hogy tulajdonképpen milyen elméleteket és megfigyelési eredményeket is ütközöttünk egymással, hiszen többfélével találkozhattunk az eddigiekben. Elméleti oldalról itt vannak

- i) a különböző távolságmérési eljárásokra vonatkozó leírások,
- ii) a kormeghatározási eljárások és
- iii) a kozmológiai háttér.

Megfigyelési szempontból mindezeket egyetlen cél eléréséhez használjuk fel, egyesítjük őket, és így jutunk ellentmondásra. Támadni tehát mind az elméleti háttér, mind a megfigyeléseinket lehet.

Hogyan elemezhetnénk ezt a problémát logikai pozitivista szempontból? Megpróbálhatjuk verifikálni a távolságmérésre vonatkozó eljárásokat, apró lépésekre felbontva igazolni azok helyességét. Hogy lehetséges-e ez teljes mértékben? Véleményem szerint talán nem is olyan elképzelhetetlen, hiszen egyre gyarapodó tudásunk a Világegyetemről lehetővé teheti, hogy pl. pontos csillagfejlődési modellekkel vagy az interszstelláris és intergalaktikus anyag tulajdonságainak jobb megértésével eljussunk odáig,

hogy nagy biztonsággal meg tudjuk mondani egyes csillagászati objektumok távolságát. Ugyanez igaz lehet a kormeghatározás területére is. Az viszont már erősen kérdéses lehet, hogy eljutunk-e arra a szintre, ahol már biztos kijelentéseket tehetünk kozmológiai világképünk helyességéről is. Erre az esetre inkább a konfirmáció folyamata alkalmazható, vagyis csak megerősíthetjük elméleteinket a megfigyelések segítségével – optimális esetben. Lépjünk tehát tovább.

Mit kezdhetünk a problémával ha a popperiánus felfogás segítségével dolgozunk? Természetesen próbáknak vethetjük alá elméleteinket mindenbőr területen, majd egyesítve őket kaphatunk pozitív eredményt, ezzel azonban nem juthatunk el a feltétlen igazolásig, elméleteink elméletek maradnak. De juthatunk ellentmondásra is, ekkor meg kellene alkotnunk egy új elméleti háttér - pl. kozmológiait -, de annak kimondásához, hogy ezzel valóban közelítettünk a valósághoz, (amellett az előny mellett, hogy így már megfelelünk az észlelési eredményeknek), az kell, hogy bizonyíthatóan helytelennek mondassuk előző elméleteinket. Így haladna előre a tudomány, azonban az ehhez szükséges döntő, cáfoló kísérletek a Hubble-állandó esetében még nem állnak rendelkezésünkre.

Itt van például az a probléma, hogy több különböző távolságmérési eljárással dolgozva nem minden kapjuk ugyanazt az eredményt, így a Hubble-konstans értéke is más lesz. Elvethetjük-e az egyiket a másik javára? Nem, hiszen egyszerűen mindenbőr lehetnek hibák, másrészt az eljárások apróbb korrigálásával – és jobb műszerezettséggel - közelíthetünk egy közös eredmény felé is. Gondoljunk csak vissza a Hubble Key Project 70 km/sMpc –es Hubble-állandójára, és az ezzel párhuzamosan Sandage által vezetett kutatóprogramban kapott 57 km/sMpc –es értékre. Pontosabban arra, hogy ezek az értékek bár látszólag jelentős eltérést mutatnak, mégis sokkal kisebb ez a differencia, mint mondjuk a '60-as '70-es években volt.

Mit mond a problémára Kuhn tudományfilozófiája? Emlékeztetőül néhány kulcsszó: paradigmák, normál és válságban lévő tudomány. Hogyan vonatkoztatható minden a Hubble-állandó utáni kutatásokra? Tulajdonképpen elég jól leírja az eddig történteket. Több paradyigma ütközik itt össze, de tekintsük most a Hubble-konstansra vonatkozó törvényt az egyiknek, amely szerint ha megadunk egy távolság és egy távolodási sebesség értéket, mindenképpen kell legyen megoldás  $H$  értékére is. Ehhez, lévén még a normál tudomány keretein belül dolgozunk, feltétlenül ragaszkodunk is. Alkalmazva ezt különböző kozmológiai modellekre, azt láttuk, hogy az általunk kapott  $H$  értékével összefüggésbe kerültünk más, pl. a csillagok korára vonatkozó paradigmákkal. Mit teszünk? Figyelmen kívül hagyjuk ezt a problémát egy időre - Kuhn szerint ez még nem okoz válságot -, és megpróbáljuk pontosabbá tenni távolságmérési eljárásainkat, valamint a csillagok korára vonatkozó elméleteinket. A Hubble-állandó utáni kutatásban azonban később már mintha a Kuhn szerinti tudományos válság kezdett volna kibontakozni. Ez alatt ő azt értette, hogy a jelenlévő anomália kezd kiemelten fontos lenni - jelen esetben már aggasztóan hosszú ideje megkérdezte asztrofizikai és kozmológiai ismereteinket -, és hogy a probléma megoldásában egyre több kutató vesz részt. Ebben az esetben azonban nem jutottunk el a válság igazi kibontakozásáig, mivel az új eredmények fényében nem kellett változtatni az eredeti paradigmákon. A Hubble-állandó körüli probléma megoldódása tehát nem tekinthető Kuhn szerint tudományoselfedezésnek, mivel nem követte paradigmaváltás. Szó esett azonban a gyorsulva táguló Világegyetem feltételezéséről is. Ez már magában hordozza egy paradigmaváltás lehetőségét, de hogy a kozmológia vagy a fizika mely területén, egyelőre a jelenség magyarázatának és jobb alátámasztottságának hiányában nem jósolható meg.

Kuhn tudományfilozófiája után vizsgáljuk meg, miként alkalmazható Lakatos Imre tényekről és elméletekről, pontosabban értelmező és magyarázó elméletekről alkotott elképzelése a jelen problémára. Tekintsük most ez előbbi a mért adatok halmazának, ez utóbbi pedig a háttérükkent szolgáló elméleteknek. Kutatási programunkat felépíthetjük a negatív és pozitív heurisztika módszere szerint. A negatív heurisztikánál az ellenpéldákat kellene valahogy alátámasztássá változtatni, pl. jelen esetben kiderülhet – bár ez nem valószínű -, hogy a cefeidák nem úgy változtatják a fényességüket, vagy a szupernóvák nem olyan fényesek, mint eddig gondoltuk, és ezzel a Hubble-állandó kutatásának mintegy mellékes járulékként igen fontos felfedezéseket is tehetünk. Ha a pozitív heurisztika szerint haladunk, már eleve tisztában vagyunk vele, hogy valami nincs rendben az elméleti háttérrrel – pl. a kozmológiaival – de ezt tudjuk korrigálni a kutatás során begyűjtött további értelmező elméletekkel. Tegyük fel, hogy ezek segítségével eljutunk valamiféle eredményhez. Pontosabban vegyük két kutatócsoportot, két különböző Hubble-állandóval. Melyik érték lehet a jobb? Lakatos szerint ezt nem lehet azonnal eldönteni, erre majd csak a későbbi kísérleti eredményekre tekintve tudunk következtetni, és végleges döntés akkor sem hozható, legfeljebb elmondhatjuk, hogy ez vagy az az érték valószínűleg jobban megközelíti a valóságot, mint egy másik. Mi azonban már abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy több évtizedre visszamenőleg ismerünk mérési adatokat a Hubble-állandóval kapcsolatban. Ennek fényében bíztatóak az idővel 50-70 km/sMpc –es értékek köré csoportosuló mérési eredmények, vagyis feltételezhetjük, hogy előbb-utóbb egy reális érték körüli Hubble-állandót fogadnak el a témaival foglalkozó kutatók.

## IX. Zárszó

A kiindulási ponttól mostanra tehát eljutottunk oda, hogy megfogalmazhatóvá váltak a tudományt alapjaiban érintő kérdések - még ha a válaszoknak korántsem lettünk a birtokában, hiszen ezeket meglehet mindenki előbb-utóbb kialakítja önmaga számára. A fontos az, hogy elkülönítsük: mit hiszünk, és mi az, amit természettudománynak tekinthetünk. A Hubble-állandó értéke bizonyos hibahatáron belül végül ismert lehet, mérésekkel talán igazolható lesz az Univerzum gyorsuló tágulása is, de hogy milyen tulajdonságokkal és történettel fogadjuk el a Világegyetemet, az eddigi korlátozott ismereteink fényében inkább hit kérdése, nem feltétlenül természettudomány. Végül itt a legnagyobb probléma: vajon megismerhetjük-e teljes egészében az Univerzumot? Hűek tudunk-e maradni a tudományos vizsgálat általunk megalkotott szabályaihoz, vagy akarva-akaratlanul a már meglévő, sokak által támogatott elméletekhez igazítjuk mérési eredményeinket? Ha a Világegyetem megismerésére tett kérdésre nemet mondunk, vajon maradiak, pesszimisták vagyunk, nincs elég képzőerőnk, vagy csak reálisan gondolkodunk? Ráadásul felvetődött egy sokak által elég rémisztőnek tartott lehetőség: az általunk felállított matematikai és fizikai modellek nem elég jó leírásai a valóságnak, azaz felbükkön a logikai lehetőség és a valóság közti lehetséges ellentét kérdése. Eldönthető-e ez a probléma a természettudományok eszközeivel, vagy ezen az úton inkább a transzcendencia felé megyünk?

Ebben a dolgozatban nem ezeken a kérdéseken volt a hangsúly, de önkéntelenül is felvetődnek, ha valaki a természettudomány – nem csak a csillagászat és a hozzá kapcsoló egyéb tudományágak – és a filozófia kapcsolatát próbálja kutatni. Ez egy mindig aktuális téma, soha nem nyer befejezést, és szerencsére sokakat is érdekel. Éppen ezért rengeteg érdekes és hálás téma kör vár még feldolgozásra, ezek közül választva erre volt kísérlet ez a dolgozat is.

### **Felhasznált irodalom:**

- Altrichter Ferenc 1972: Bevezetés A Bécsi Kör filozófiája című kötethez In: *A Bécsi Kör filozófiája*, 5-47.o.
- Baade W. 1956: „The Period-Luminosity Relation of the Cepheid.” *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 68. 5-16. o.
- Baade W. 1958: „Problems in the Determination of the Distance Galaxies.” *Astronomical Journal* 68. 207-211. o.
- Barcza Szabolcs 1997: „Előzetes eredmények a Hipparcos adataiból”, *Meteor Csillagászati Évkönyv, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*, 137.o.
- A Bécsi Kör filozófiája.*(Szerk.: Altrichter Ferenc) Budapest: Gondolat, 1972.
- Carnap, R 1972: „Ellenőrizhetőség és jelentés.” In: *A Bécsi Kör filozófiája*. Gondolat, Budapest. 377-504 o. (Megtalálható Forrai és Szegedi 1999.-ben is.)
- Carnap, R. 1972a: „A régi és az új logika.” In: *A Bécsi Kör filozófiája*. Gondolat, Budapest.
- Carnap, R 1972b: „A metafizika kiküszöbölése a nyelv logikai elmézésén keresztül” In: *A Bécsi Kör filozófiája*. Gondolat, Budapest. 61-92. o. (Megtalálható Forrai és Szegedi 1999-ben is.)
- Élet és Tudomány, LIV. évfolyam, 24. szám, 1999. június 11., 739-740.o.
- Fehér Márta 1983: *A tudományfejlődés kérdőjelei. A tudományos elméletek inkommensurabilitásának problémája*. Budapest: Akadémia.
- Fehér Márta 1984: „A posztpozitivista tudományfilozófia válsága.” *Magyar Filozófiai Szemle*, 1984. 4-5. szám. 559-593. o.
- Forrai Gábor és Szegedi Péter (szerk.) 1999: *Tudományfilozófia szöveggyűjtemény*. Áron Kiadó.
- Ifj. Gazda István - Marik Miklós 1982: *Csillagászattörténeti ABC*, Tankönyvkiadó, Bp.
- Hanson, Norwood Russell 1958: *Pattern of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundation of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1965. (Az 1958-as kiadás Paperback változata.)
- Hubble, E. 1929: „A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extragalactic Nebulae.” *Proceeding of the National Academy of Sciences (Washington)* 15. 168-173. o.

Hubble, E. and Humanson, E. L. 1931: „The Velocity-Distance Relation Among Extra-galactic Nebulae.” *Astrophysical Journal* 74. 43-80. o.

Kiss László: „Távolságmérés a galaxisok között”, *Meteor - a Magyar Csillagászati Egyesület lapja* - 2001/7-8

Kuhn, Thomas 1984: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Budapest: Gondolat.

Lakatos, I. 1970: „Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. Bohr: A Researche Programme Progressing on Inconsistent Foundation.” In: Lakatos I., Musgrave, A.: *Criticism and the Growth of the Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lakatos Imre 1977: „A kritika és a tudományos kutatási programok metodológiája.” In: *Lakatos Imre tudományfilozófiai írásai*. Budapest: Atlantisz 1997. 19-63. o.

Lakatos Imre 1977a: „A tudomány története és annak racionális rekonstrukciója.” In: *Lakatos Imre tudományfilozófiai írásai*. Budapest: Atlantisz 1997. 65-128. o.

Lukács György 1971: *Történelem és osztálytudat*. Budapest: Magvető.

Marik Miklós (szerk.) 1989: *Csillagászat*, Akadémiai Kiadó, Bp.

*Meteor -a Magyar Csillagászati Egyesület lapja* - 1999/7-8, Csillagászati hírek, 18.o.

Moche, Dinah L 1996: *Astronomy*, John Wiley & Sons Inc., 123-124.o.

Patkós László: „A csillagászat legújabb eredményei”, *Meteor Csillagászati Évkönyv 1994, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*

Patkós László: „A Hubble-állandó”, *Meteor Csillagászati Évkönyv 1995, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*

Patkós László: „Új fejlemények a Hubble-állandó meghatározása körül”, *A csillagászat legújabb eredményei, Meteor Csillagászati Évkönyv 1996, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*

Popper, Karl 1997: *A tudományos kutatás logikája*. (fordította Petri György és Szegedi Péter)

Rees, Martin 1999: A kezdetek kezdete, Athenaeum Kiadó Kft., 31-32.o.

Russel, David: „Island Universes - from Wright to Hubble”, *Sky & Telescope 1999/1*

Quine, W. O. 1973: „Az empirizmus két dogmája.” *Magyar Filozófiai Szemle*. 225-239. o.

Schlick, Moritz 1972: „A filozófia fordulata” In: *A Bécsi Kör filozófiája*, szerk. Altrichter Ferenc, Budapest: Gondolat. (Megtalálható Forrai-Szegedi 1999-ben is.)

Schlick, Moritz 1972a: „Pozitivizmus és realizmus” In: *A Bécsi Kör filozófiája*, szerk. Altrichter Ferenc, Budapest: Gondolat.

Schlick Moritz 1972b: „Az ismeret fundamentumáról” In: *A Bécsi Kör filozófiája*, szerk. Altrichter Ferenc, Budapest: Gondolat, 1972. 261-87.o. (Megalálható Forrai-Szegedi 1999-ben is.)

Shapley, H. 1914: „On the Nature and Cause of Cepheid Variation” *Astrophysical Journal* 40. 228-265. o.

Shapley, H. 1916: „A Short Period Cepheid with Variable Spectrum.” *Proceeding of the National Academy of Sciences (Washington)* 2. 132-136. o.

Shapley, H 1918: „Globular Clusters and the Structure of the Galactic System.” *Publication of the Astronomical Society of Pacific* 30. 24-54. o..

Shapley, H. 1918a: „Studies Based on the Colors and Magnitudes in Stellar Clusters. Sixth paper: On the Determination of the Distance Globular Clusters.” *Astrophysical Journal* 48. 89-124. o.

Sitter W. de 1932: *Cosmos*. Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press.

Slipher, V. M. 1917: „Nebulae.” *Proceeding of the American Philosophical Society* 56. (Philadelphia) 403-409. o.

Smith, Robert W. 1982: „*The Expanding Universe: Astronomy’s Great Debate 1900-1931.*” Cambridge, London, New York, etc.: Cambridge University Press.

Smith, Robert W. 1990: „Edwin P. Hubble and the Transformation of the Cosmology.” *Physics Today*. (April 1990)

Szabados László 1996: „A Hipparcos sikeréről”, *Meteor Csillagászati Évkönyv, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*, 132.o.

Szabados László 1999: „A Hipparcos eredményeiről”, *Meteor Csillagászati Évkönyv, Magyar Csillagászati Egyesület, Bp.*, 166-167.o.

Tammann, G. A. 1973: „The Hubble Constant and the Deceleration Parameter”, *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data, International Astronomical Union Symposium No. 63*, 47-53.o.

Terndrup, D. M. 1988: „A New Value for the Hubble Constant from the Size of the Galactic Bulge”, *The Extragalactic Distance Scale, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Volume 4*

Tully, R. Brent 1988: „Effect of the Local Velocity Anomaly on the Hubble Constant”, *The Extragalactic Distance Scale, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Volume 4*

Van den Bergh, D. A. 1988: „Constraints on Ho from Globular Clusters”, *The Extragalactic Distance Scale, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Volume 4*

Wirtz, C. 1918: „Über die Bewegungen der Nebelfleckne.“ *Astronomische Nachrichten* 206. 109-116. o.

Wirtz, C 1921: „Einiges zur Statistik der Radialbewegungen von Spiralnebeln und Kugelsternhaufen.“ *Astronomische Nachrichten* 215. 349-354. o.

**Internetes hivatkozások:**

- [1] <http://www.astro.caltech.edu/~tjp/CBI/abstract.html>
- [2] <http://www.ast.cam.ac.uk/HST/PR/94-49.html>
- [3] <http://www.astro.indiana.edu/collaborations.html>
- [4] [http://www.cadvision.com/Home\\_Pages/accounts/lieschd/hubble.htm](http://www.cadvision.com/Home_Pages/accounts/lieschd/hubble.htm)
- [5] <http://www.sciam.com/specialissues/0398cosmos/0398freedman.html#link1> (Szerző: Wendy L. Freedman, Carnegie Institution, Pasadena)
- [6] [http://www.sciencenews.org/sn\\_arc99/5\\_29\\_99/fob1.htm](http://www.sciencenews.org/sn_arc99/5_29_99/fob1.htm) (Szerző: R. Cowen, The Weekly Newsmagazine of Science)
- [7] <http://oposite.stsci.edu/pubinfo/pr/1996/21/PR.html>
- [8] <http://zebu.uoregon.edu/1997/ph410/16.html>