

A TEJÚTTÓL A VILÁGEGYETEMIG

NEMZEDÉKEK számtalan során keresztül foglalkoztatta az embert az a probléma, milyen helyet foglal el a Mindenségi ben, milyen ennek a felépítése s milyen is a természete annak a határtalannak képzelt térnek, mely világunkat alkotja. Méltatlan is volna az emberhez azt a világot, melyben életét leéli, nem ismerni, helyesebben szólva, annak megismerésére nem törekedni. A teljes ismeretről ugyanis úgy látszik még igen messze vagyunk s a célt talán soha nem is fogjuk elérni. Azok a dimenziók, melyeken belül a térben ma tájékozódunk, óriásiak, és azok a távolságok, ameddig távcsöveink elhatnak, egyre növekednek. De bármilyen messzire is kiterjesztjük megfigyeléseink területét, újabb és újabb régiók várnak felkutatásra, melyekről ma csak feltevéseket állíthatunk fel. És nemcsak e felől vagyunk bizonytalanságban. Magáról a térről is, mint egészről, melyben a hatalmas kozmikus tünemények lefolynak, a legkülönbözőbb nézetek alakultak ki az idők folyamán.

A Mindenségről alkotott felfogásunk még mindig nem állapodott meg, az még mindig változik. Mégis ott tartunk már, hogy ezt a változást bátran folytonos tökéletesedésnek tekinthetjük. A Mindenség ama részében, ameddig kutató eszközeink elhatnak, már meglehetősen biztonsággal tájékozódunk. Olyan forradalmi fordulatra, amilyen a Föld mozdulatlanságába vetett hit megdőlése volt, már nem igen számíthatunk. Mikor kiderült, hogy nem vagyunk a világ közepe, hogy Földünk a nagy Mindenségben számba se jön, sőt hogy Naprendszerünkben is csak igen szerény hely jutott neki osztályrészül, ennek a nemcsak a csillagászatra, de egész emberi művelődésünkre annyira kiható és egész új világszemléletet teremtő ténynek a felismerése a további kutatások irányát véglegesen kijelölte.

A Föld központi szerepét egy időre a Nap foglalta el. E hatalmas izzó test körül keringő bolygók mozgásának a tanulmányozása képezte a múlt század közepéig a csillagászok jóformán kizárólagos munkakörét. Bár csakhamar ismeretessé vált, hogy Napunk is csak szerény tagja valami nagyobb rendszernek s legfeljebb egyenrangú az eget ellepő csillagokkal, ezeknek világát sokáig a titokzatosság és a rejtelem fátyla takarta. Mindennek oka a csillagok mérhetetlennek látszó nagy távolsága volt.

Ma már számos módszer birtokában vagyunk, melyek segítségével csillagok távolságát meg tudjuk határozni. A hozzánk legközelebb lévő csillag majdnem 300.000-szer van távolabb, mint a Nap, pedig ezt is 150 millió km választja el tőlünk. Nyolc percre van szüksége a fény-

nek, míg a Napból hozzánk jut, ellenben több mint 4 év telik el, míg a sebes fény útján hírt kapunk a legközelebbi csillagról. A többi csillag meg még távolabb van tőlünk. Úgy oszlanak el a szinte üresnek tetszhető térben, mint ha homokszemeket szóránk szét 100 km-nyi távolságban egymástól.

A kaliforniai Mount Wilson obszervatóriumban felállított s jelenleg a legnagyobb távcsővel, egy 250 cm átmérőjű reflektorral megfigyelhető csillagok száma körülbelül 1 milliárd. Semmi kilátás, hogy e csillagok akár jelentéktelen hányadának a távolságát belátható időn belül módunkban legyen meghatározni s eddig mindössze ezer csillagnak a távolságát ismerjük. De a csillagok fényessége és elhelyezkedése az égbolton, vagyis látszó eloszlása sokat árul el a csillagok tényleges térbeli eloszlásáról, úgyhogy az égitestek most említett két sajátosságán végzett statisztikai vizsgálatok révén már meglehetősen tiszta képünk van annak a nagy rendszernek a felépítéséről, melyben egy homokszem szerepét játssza a mi Napunk is. Ez az óriási csillagrendszer az ú. n. Galaktika vagy más néven a Tejútrendszer.

Ha kis barangolásra szánjuk rá magunkat a Tejútrendszerben, utazásunk közben számos, különböző tulajdonságú égitestre fogunk bukkanni, melyekkel most nem akarunk külön-külön foglalkozni. Csak azt jegyezzük meg, hogy ha a Naptól távolodva bármelyik irányban is haladunk, végre olyan régiókba jutunk, ahol egyre ritkábban és ritkábban esnek utunkba csillagok s végül is a Galaktika, a mi szűkebb értelemben vett világrendszerünk határához érkezünk. Persze a fénysugár szárnyán utazva is évezredek fognak ezalatt eltelni.

Már régen sejtették s ezt a későbbi vizsgálatok megerősítették, hogy a körülöttünk lévő csillagok habár óriási, de mégis csak véges kiterjedésű halmazt alkotnak. Kívülről nézve ennek alakja legjobban lapos koronghoz vagy lencséhez hasonlítható. Mivel mi ebben a rendszerben benne vagyunk, a korong síkjában látjuk a legtöbb csillagot s ez idézi dő az égbolton látható, azt övszerűen körülburkoló, szabadszemmel is látható Tejút sávját s e sáv két oldalán, attól távolodva, a csillagok számának fokozatos csökkenését. Az összes csillag számát az újabb vizsgálatok 30 milliárdra teszik, ami természetesen csak hozzávetőleges számnak tekinthető és csak a Tejútrendszer csillagaira vonatkozik. Elhagyva a mi rendszerünket és a fényel az évek százazein keresztül utazva a térből, a mi rendszerünkhöz hasonló újabb és újabb ú. n. extragalaktikákra bukkanunk. Ezek, a távcsőben megfigyelt külsejük után még régen ködfoltoknak elnevezett, égi objektumok mindegyike ismét a csillagok milliárdjait tartalmazza.

A sok galaktika közül, ami a részleteket illeti, természetesen azt ismerjük legjobban, amelyben benne vagyunk, vagyis a Tejútrendszert. Bizonyos vonatkozásban s éppen nem jelentéktelenben, nevezetesen méreteit illetően, azonban éppen ennél vagyunk a legnagyobb tájékoztatatlanságban. Éppen azért, mert benne vagyunk. Úgy vagyunk vele, mint a vándor, ki a völgyben elterülő város kiterjedéséről sokkal tisztább képet nyer a hegyről letekintve, mint ha a város közepében találja magát. Sediger 10—15.000 fényévre becsülte a Tejútrendszer átmérőjét. (1 fényév az a távolság, melyet a fény egy év alatt fut meg.) Később

Kapteyn ennek nagyságát 40.000 fényévben állapította meg. Shapley újabb kutatásai 200—300.000 fényévre tolták ki a Galaktika határait. Napunk e rendszernek közelítőleg a síkjában, de annak középpontjától mintegy 45—50.000 fényévnyi távolságban foglal helyet.

Mindezek a megállapítások alig néhány évesek s ugyancsak újabb keletű Shapley ama felfogása, mely szerint Tejútrendszerünk nem is egy, kanon számos kisebb galaktika összesége, ú. n. szupergalaktika. Shapleyt erre a megállapításra az a körülmény készítette, hogy a Tejútrendszerünkön kívül ismeretes ködfoltok nagysága általában 10—30.000 fényév között ingadozik s 50.000 fényévnél nagyobb kiterjedésű eddigi ismereteink szerint nem fordul elő.

A Tejútrendszer nagyságára, szerkezetére és mozgására vonatkozó kutatások a jelenlegi csillagászat egyik főfeladatát képezik. Nemkevéssé vannak az érdeklődés homlokterében a Tejútrendszer egyenrangú társai, az extragalaktikai ködfoltok. Óriási távolságuk folytán mindent, amit eddig tudunk róluk, jóformán kizárólag néhány elsőrangúan felszerelt amerikai csillagdának köszönhetünk. Részletes vizsgálatot ott is csak néhányon sikerült végezni, legtöbbje olyan távol van, hogy a kutató módszerek jelenlegi fejlettsége mellett a beható tanulmányozás alól még kivonja magát. Hubble a Mount Wilson Obszervatóriumban megállapította, hogy átlagos nagyságuk és fényességük egyforma s így már látszólagos nagyságukból és fényességükből is következtetést vonhatunk távolságukra. A leghalványabb ilyen ködfoltra, melyet a nevezett obszervatórium óriás távcsövével lefényképeztek, 300 millió fényév távolság adódott. Ezzel a sugárral vont gömbön belül Hubble 30 millióra becsüli a ködfoltok számát. Mint később látni fogjuk, különösen fontos Hubble ama megállapítása róluk, hogy meglehetősen egyenletesen oszlanak el a térben. Egymástól való távolságuk átlagban 1 millió fényév.

A csillagászat egyik legnagyobb horderejű eredménye, hogy az égitestek spektrumából, nevezetesen a spektrumvonalak eltolódásából meg tudja állapítani, hogy az illető égitest hozzánk közeledik-e, vagy távolodik-e tőlünk. Sőt a spektrumvonalak eltolódásának nagyságából az is meghatározható, hogy ez a közeledés vagy távolodás mekkora sebességgel történik. Kiderült, hogy az extragalaktikai ködfoltoknak ez a látóvonalba eső sebessége (az ú. n. radiális sebesség) óriási és hozzá olyan irányú, mely arra utal, hogy a ködfoltok mind távolodnak tőlünk, mégpedig annál nagyobb sebességgel, minél távolabbiak. Még 1929-ben közel 4000 km másodpercenkénti radiális sebességet állapítottak meg egy ködfolton, ami akkoriban óriási feltűnést keltett a szak-körökben. Azóta egyre nagyobb sebességű ködfoltokat fedeztek fel s csak nem régen olvasunk 24.000 km sebességről, mellyel egy mintegy 140 millió fényév távolságban lévő ködfolt rohan el tőlünk. Az a körülmény, hogy a sebesség a távolsággal arányosan nő, nemcsak azt jelenti, hogy ezek az égi objektumok tőlünk távolodnak, hanem azt is, hogy egymásközi távolságuk is egyre nagyobb és nagyobb. A megfigyelések alapján úgy látszik, hogy az eddig ismert fizikai világ egyenletesen kitágul, mégpedig olyan rohamosan, hogy minden 1400 millió év eltelte után megkétszereződik a nagysága.

Mindezek az eredmények, amelyeket eddig ismertettünk, tényleges megfigyeléseken alapszanak. Ha megállapításaink itt-ott javításra is szorulnak, a Mindenség felépítéséről itt vázolt kép nagyjából megbízhatónak tekinthető azokon a távolságokon belül, ameddig modem távcsöveink elhatnak. Ezek állandó fejlődésével kutatásaink határai egyre jobban és jobban kitágulnak. A türelmetlen emberi elme azonban nem tudja bevárni, míg a megfigyelő módszerek tökéletesedése lehetővé teszi a most még ismeretlen területek felkutatását, hanem az eddigi eredmények alapján már most következtet a határon túlra, sőt ami közvetlen megfigyelés tárgyát talán sosem fogja képezhetni, az egész Mindenség felépítésére.

Bár az Univerzum megfigyelés alatt lévő területe óriási, ez még mindig csak igen kis része lehet az egész Mindenségnek. Az ezen kívül eső részekről semmit sem tudunk s ha a Mindenségről, mint egészről akarunk beszélni, kénytelenek vagyunk bizonyos feltevésekkel élni. Ilyen feltevés, hogy az eddig kifürkészett terület semmiképp sem foglal el valami kiváltságos helyet a nagy Univerzumban, hanem annak csak egy, a többi eddig még kutatás alá nem került területekhez hasonló része. S e feltevés kiegészítése, hogy a Mindenség mindenütt egyforma felépítésű s az ismert területre kapott anyagelosztódás, átlagos sűrűség az egész Univerzumban érvényes. Ha ennek alapján felépítünk is egy, esetleg több elméleti univerzumot, semmiképp sem állíthatjuk, hogy ez tökéletes mása a ténylegesnek. Valójában csak idealizált s esetleg igen elvont univerzum-modelleket kapunk, melyektől azonban szigorúan megköveteljük, hogy megkonstruálásuknál a teoretikus fizika elveivel összeütközésbe ne kerüljünk. Nem szabad elfelejtenünk, hogy végül e modellek csak lehetőségeket jelentenek, a nélkül, hogy jelenleg megtudnák mondani, melyik felel meg a valóságnak. S talán generációk is elmúlhatnak, míg a csillagászoknak módjukban lesz ezt eldönteni.

Az első ilyen univerzum-modell, mely sok interpretálásra adott alkalmat, Einsteintől ered. Bizonyos nehézségek, melyek a tér végtelen voltának feltevéséből folytak, Einsteint kutatásai során arra kényszerítették, hogy a tért bár határtalannak, de véges kiterjedésűnek tételjeze fel. Csaknem egy évszázada ismeretes, hogy a teljesen homogén és izotróp térnék három típusa lehetséges: a mindenki által ismeretes Euklides-féle tér, Riemann szférikus tere és a Bólyai-féle tér. Riemann véges kiterjedésű tere zárt, de határtalan. (Amint pl. egy adott sugarú gömb felülete is véges, de határtalan. A tér három dimenziójával szemben azonban ez csak két dimenziójú.) Einstein világa ilyen Riemann-féle tér, amelyben a fény egy helyről elindulva egyszer csak újra visszatér kiindulási helyére (némi szemléleti hasonlattal élve: egy véges sugarú gömb felületén egy irányban haladva szintén visszajutunk az elindulás helyére). Einstein véges világának nagyságát sugarával, az u . n. görbületi sugárral, jellemezhetjük.

Einsteinnal szinte egyidőben (1917) de Silter a relativitás elmélet alapján úgy találta, hogy a nagyon távoli objektumok spektrumában a színekvonalak olyan eltolódásának kell mutatkoznia, mely ez égitestek távolodásának felel meg. A távoli extragalaktikai ködfoltokon végzett és éppen e feltevés nyomán megindított megfigyelések, mint

láttuk, ezt igazolták is. Ennek folytán de Silter táguló univerzum-modellje igen bizalomkeltő lett. Ez a világ is, mint Einsteiné, szférikus; görbületi sugara ellenben folyton nő; ezenkívül az a sajátos tulajdonsága, hogy teljesen üres. Az elméletileg mindkét lehetséges univerzumot úgy jellemezhetjük, hogy Einstein anyagi világa változatlan, de Silter anyagtalán világa tágul.

Ismerve a megfigyelésekből a ködfoltok eloszlását a térben s bizonyos meggondolások alapján felbecsülve tömegüket, megállapíthatjuk a tér átlagos sűrűségét. Ha az összes galaktikák csillagjait atomjaikra bontanók s az egész téren át egyenletesen szórónók szét ezeket, úgy körülbelül 20 cm távolságra kerülnének egymástól az egyes atomok. Ez valóban rendkívül alacsony sűrűség, mintegy billiószor alacsonyabb, mint amilyen a fizikai laboratóriumban egyáltalában előállítható vákuumé. De ez még mindig nem nulla sűrűség, melyet de Silter világa előír. Einstein anyagi világa meg változatlanságával tér el a ténylegestől. Lemaitre mutatta ki (1927), hogy e két elméleti világ a lehetségeseknek két határfokát jelenti s a határozott sűrűséggel bíró, de tágulás nélküli Einstein-féle univerzum és de Silter üres, de táguló univerzuma között számtalan táguló és sűrűséggel bíró univerzum képzelhető el. A tényleges univerzum egy ilyen közbeeső modellnek felel meg, mely adott anyagmennyiség mellett folyton tágul, úgyhogy mintegy másfél milliárd év alatt megkétszereződik az átmérője, miközben egyre csökken a sűrűsége. E mellett a tágulás irama is egyre növekszik, úgyhogy végül univerzumunk de Silter nulla sűrűségű világává alakul át.

Már említettük, hogy Einstein világában a fény körüljárja a világot s végül is visszatér kiindulási helyéhez. A de Silter tér felé közeledve, még annak elérése előtt olyan térformához jutunk, melyben a fény a tér tágulása következtében már sohasem térhet vissza. Ebből az elgondolásból nézve, a mi világunk már rég átment ezen a formán.

Így álltak a dolgok a legutóbbi időkig. Vagy egy éve maga de Silter kijelentette, hogy ez csak a ma felfogása, mely holnapra megváltozhat. Röviddel rá Heckmann kimutatta, hogy az univerzum tágulásának tana nincs szükségszerűen összekötve a tér véges voltával, egy olyan térrel tehát, melynek nagysága bizonyos görbületi sugárral jellemezhető. A relativitástan kereteiben épp olyan jogosult a görbület nélküli végtelen tér lehetősége, sőt akár a negatív görbületi sugárral bíró Bolyai-féle téré. Heckmann értekezésének hatása alatt Einstein és de Silter nemrégén közösen kiadott tanulmányukban szakítanak eddigi felfogásukkal és megállapítják, hogy nincs közvetlen bizonyíték a tér görbületére. A megfigyelhetőség jelenlegi hatásain belül a tér euklidesinek tekinthető, tehát az nemcsak határtalan, de végtelen is. A csillagászati adatok növekedésével mód lesz majd pontosabban meghatározni az anyag sűrűségét az univerzumban. Ha úgy fordulna, hogy a sűrűség más a jelenleg megállapítottnál, úgy vagy az előbb ismertetett univerzum-modellek valamelyikére kellene visszatérni, vagy azt kellene megállapítani, hogy egy negatív görbületű térben élünk, olyanban, amilyenről egy évszázaddal ezelőtt Bolyai és Lobacsevszki álmodozott.