Csillagok Világa

1956.

3—4. szám

CSILLAGOK VILÁGA

A TÁRSADALOM- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT KÖZPONTI CSILLAGÁSZATI ÉS MATEMATIKAI SZAKOSZTÁLYÁNAK LAPJA

3—4

Megjelenik negyedévenként

★

Szerkeszti
a központi szakosztályból
alakult szerkesztő bizottság

★

Felelős szerkesztő:
GUMAN ISTVÁN

★

A szerkesztő bizottság:
ALMÁR IVÁN
DETRE LÁSZLÓ
DEZSŐ LORÁNT
KULIN GYÖRGY
RÓKA GEDEON
SINKA JÓZSEF
ZERINVÁRY SZILÁRD

★

A szerkesztőség címe:
Budapest, VIII.,
Bródy Sándor utca 16.
Telefon: 335—560

★

Egyes szám ára 6,— Ft

TARTALOM

Kulin György:
Az Arend—Roland üstökös 173

Julius Dick:
A mai meridiánasztronómia feladatai 176

— —
A huszadik század csillagászata II. 190

Guman István:
Rádiócsillagászat III. (Befejezés) 217

Zerinváry Szilárd:
Az üstökösmagok fizikája 225

Szimán Oszkár:
Edmund Halley 238

Dezső Loránt:
Három évszázados írás: „Az égi dolgokról" 242

Ifj. Bartha Lajos:
Jablonczay Attila —
A Sárospataki Főiskola csillagászati műszergyűjteménye 245

Id. Csada Imre:
Számítsuk ki, milyen nap van ma! 253

Zerinváry Szilárd:
Nem teljesen kötött a Merkur tengelyforgása 256

Horváth Árpád:
Pierre Simon Laplace 260

Dezső Loránt:
Csada Imre elméleti vizsgálatai a csillagok általános mágneses teréről 267

Gauser Károly:
Más naprendszerek 272

Ifj. Babos Károly:
Napfoltok relatívszáma 1956 második negyedében 276

Bemutató csillagvizsgálóink életéből

Kulin György:
A Nasmyth-rendszer 278

Orgoványi János:
Parallaktikus tengelyrendszer készítése .. 284

Szakosztályi élet 288

Gondolkozzunk és számoljunk 290

Címképünk: Az 1908. III. Morehouse üstökös. M. Wolf felvétele. (Az üstökösmagok fizikája c. cikkünkhöz.)

CSILLAGOK VILÁGA

1956 I. ÉVFOLYAM 3-4. SZÁM

KULIN GYÖRGY

AZ AREND—ROLAND ÜSTÖKÖS

Hosszú évtizedek óta vár már a tudományos világ egy fényes üstökös megjelenésére. Az 1910a jelzésű és az ugyancsak 1910-ben megjelent Halley-üstökös óta mindössze néhány olyan üstökös volt, mely napközelsége idején pár napon át szabad szemmel is látható volt. Az Arend—Roland-üstököst valószínűleg heteken át követhetjük szabad szemmel.

Az új üstökös iránt megnyilvánuló általános érdeklődést tehát kellően indokolja az a tény, hogy az emberiség nagyobb fele még nem láthatott üstököst. Tudományos jelentőségét az adja, hogy az utóbbi évtizedekben az üstökösökre vonatkozó újabb ismereteinket jórészt elméleti meggondolások alapján tették. Ma már sokkal fejlettebb technikai eszközök és megfigyelési eljárások állnak a tudomány rendelkezésére s így sok problematikus kérdésre kaphatunk feleletet.

Az Arend—Roland-üstökös tudományos jelzése: 1956h, ami arra utal, hogy a múlt évben fedezték fel (november 8-án), s az évszám mellett levő h betű azt jelenti, hogy a múlt év nyolcadik üstököséről van szó.

Arend és Roland a belgiumi Uccle csillagvizsgálójának csillagászai.

Arranézve, hogy az üstökös új-e, a pályaszámítás ad feleletet.

Ismeretes tény, hogy egy vonzó test (Nap) és a vonzott test (bolygó, üstökös) kölcsönös hatására ún. kúpszeletpálya jön létre éspedig kör, ellipszis, parabola vagy hyperbola.

A kör- és ellipszis-pályákhoz meghatározott keringésidő tartozik. A parabola- és hyperbola-pályák esetén ilyenről nem beszélhetünk.

A pályaalak egyben az üstökös eredetére nézve is felvilágosítást ad. A kör- és ellipszis-pályán keringő égitestek a Naprendszer állandó tagjai, a parabola- és hyperbola-pályán mozgó égitestek a Naprendszerünkön kívül fekvő, ún. interstelláris (csillagközi) térből jönnek hozzánk.

Strömgreen nagyjelentőségű munkájában kimutatta, hogy valamennyi eddig megfigyelt üstökös ellipszis-pályán mozgott annak ellenére, hogy a több mint 500 eddig feldolgozott üstökospályának több mint kétharmadára parabolikus- és hyperbolikus-pálya adódott. Eszerint tehát minden üstökös, mely tőlünk megfigyelhető, a Naprendszerhez tartozik.

Az üstökösöknek két nagy családját különböztetjük meg. Az egyiknek tagjai már hosszabb idő óta, mint visszatérő (periodikus) üstökösök ismeretesek, pályaalakjuk erősen idomult a bolygópályákhoz. Ellipszisüknek nagytengelye nem sokkal haladja meg a legkülső bolygókét. A másik család tagjai igen nagy meszszeségben keringenek a Nap körül. Közepes távolságuk 40 000—150 000 csillagászati egység között van. Ebben a nagy távolságban valószínűleg egy egész üstökösfelhő van, melynek statisztikai becslés szerint mintegy százmilliárd tagja van.

A szomszédos állócsillagok zavaró hatására egy-egy ilyen üstökös pályája módosul s bekerül naprendszerünkbe.

Az Arend—Roland-üstökös is minden bizonnyal ezek közül való.

Bizonyíték e feltevés mellett az is, hogy az első pályaszámítás alapján ez az üstökös hyperbola-pályán mozog. Ez az eset akkor szokott előfordulni, ha az üstökös pályája rendkívüli mértékben elnyúlt ellipszis volt eredetileg. Excentrumossága 0,99999 körüli érték. Tudjuk jól, hogy a parabola excentrumossága éppen 1, a hyperboláé pedig 1-nél nagyobb. Az Arend—Roland-üstökös pályájának excentrumossága 1,000178, alig valamivel nagyobb az egységnél. Azt jelenti ez, hogy a pályának a Nap körül görbülő szakaszán jó darabon a pályaalakhoz jól simulna egy említett nagy excentrumosságú ellipszis, vagy akár egy parabola is. Elegendő egy ilyen ellipszis-pályán mozgó üstökösnek valamely nagybolygó részéről megnyilvánuló zavaró hatása ahhoz, hogy sebességét kismértékben s ezzel a pályaalakot is módosítsa. És éppen itt van ennek a problémának a lényege. Eddig minden esetben kiderült, hogy a hyperbola-pályák voltaképpen eredetileg ellipszis-pályák voltak s csak az említett hatások miatt észleltek hyperbola-pályát.

Egyelőre tehát az Arend—Roland-üstökösnek sem beszélhetünk keringés-idejéről. Lehet, hogy itt járt már valamikor, de minden bizonnyal több százezer, vagy több millió évvel ezelőtt.

Az is lehetséges azonban, hogy az üstökös ellipszis-pályán jött be a Naprendszer belsőbb részébe s itt olyan hatásokat kap, amelyek a pályát hyperbolává módosítják s végleg elhagyja a Naprendszert s a csillagok közti térbe távozik. Ez esetben nem látjuk többé viszont.

Lássuk az üstökösnek néhány érdekes pályaadatát.

A perihélium-átmenet 1957. ápr. 8-án délelőtt következett be. Távolsága ekkor 0,317 csillagászati egység volt, azaz 47,5 millió kilométer.

Pályahajlása csaknem pontosan 120°, tehát igen meredeken szeli át az ekliptikát. Emiatt mozgásiránya a bolygókéval ellentétes.

Nagy fényessége annak köszönhető, hogy a Merkur-pályán belül fordul meg a Nap körül. Legnagyobb fényességét április 12-re számították — 0,9 magnitudó értékkel.

A mi szempontunkból lényeges dolog, hogy a Földet mennyire közelíti meg és az égboltra vetített látszólagos pályája milyen csillagképeken halad át. A Földet április 22-én közelíti meg legjobban 0,573 csillagászati egységre, azaz közel 86 millió kilométerre.

Minthogy a Naphoz a valóságban is közel jár, látszólagos helyzete is hosszú időn át a Nap irányában van. Ezért nem láthatjuk sem a perihélium-átmenet, sem a legnagyobb fényessége idején.

A meredek pálya miatt deklinációja rohamosan növekszik, áthalad az ekliptikán és igen gyorsan távolodik a Nap irányától. Április 22-én, földközelsége idején deklinációja már 20 fokkal nagyobb a Napénál s ezért már a Nap előtt kel és a Nap után nyugszik. 21-én a hajnali órákban már megpillanthatjuk a napkelte előtti szürkületben s este közvetlenül napnyugta után. E naptól kezdve a reggeli és esti órákban egyre hosszabb időn át láthatjuk. Április 27-ére már deklinációja eléri a + 48 fokot, tehát hazánk területén már cirkumpoláris lesz és nem nyugszik le a látóhatár alá. Egész májusban, júniusban és még júliusban is heteken át minden éjszakán át látóhatárunk fölött tartózkodik.

Az előreszámított fényességadatok alapján május első három hetéig szabad szemmel is követhető lesz.

A következő táblázatban megadjuk az üstökös koordinátáit az április 12—július 1-ig terjedő időre.

Dátum	Rektaszcenzió	Deklináció	Csillagkép
IV. 12	0^h 53^m	— 3° 34'	Cet
17	1 19	+12	Halak
22	2 1	+32 33	Triangulum
27	3 0	+48 41	Perseus
V. 2	4 6	+57 45	Camelopardalis
7	5 9	+61 51	Camelopardalis
17	6 41	+63 33	Camelopardalis
22	7 12	+63 15	Camelopardalis
VI. 1	7 58	+62 7	Camelopardalis
11	8 30	+60 54	Ursa Major
21	8 56	+58 49	Ursa Major
VII. 1	9 19	+56 54	Ursa Major

Az üstökös várható fényességére említettünk már néhány adatot. Április 22-én eszerint még olyan fényesnek kellene lennie, mint a fényesebb állócsillagok. Pontosan azonban nehéz lenne megjósolni, hogy valóban milyen fényes lesz. Itt a következőket kell figyelembe venni. Amikor az üstököst felfedezték, csupán egy parányi kis elmosódó, ködszerű jelenségnek látták.

A szilárd mag körül keletkező gázburok, a kóma azóta folyton nő és nagymértékben kifejlődött az üstökös csóvája is. Az üstökös összfényességét nyilván a mag, a kóma és a csóva együttes fénye adják, amihez hozzájárul még a csóvában keletkező saját, ún. gerjesztett fény, amely a Nap sugárzásának hatására jön létre. Különösen naptevékenység idején az üstökösök fénye sokszorosára nőhet az előre számított fényességnek. Lehet tehát, hogy még fényesebb lesz, mint amilyenre a hivatalos közlés számít. Nem tudhatjuk azonban, hogy a nagy napközelség következtében, a Merkuron belül, ahol a Nap hőmérséklete már igen tetemes, miként alakul a helyzet. Az üstökös magvában levő csóvaképző anyagból mennyit emészt fel a nagy napközelség s mennyi marad még arra az időre, amikor láthatjuk.

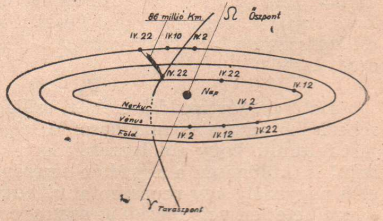
Előfordult már olyan eset, amikor egy-egy üstökös teljes pompájában ragyogott, hatalmas csóvája volt s 24 órán belül a csóva csaknem teljesen eltűnt s ezzel az üstökös összfényessége hirtelen lecsökkent.

Arra a kérdésre, milyen nagy ez az üstökös, nehéz egy szóval felelni. A mag tömege és terjedelme még az eddigi nagy üstökösök esetében is több százmilliószor kisebb volt Földünknél. De még a Földünknél milliárdszorta kisebb tömeg is elég nagynak mondható, hiszen még mindig 6 billió tonnát jelent.

Nagyon is képletes kifejezés téhát, ha azt mondjuk, hogy az üstökös „látható semmi", mert ez a szóhasználat inkább csak arra vonatkozik, hogy kómája és csóvája rendkívül ritka anyagból áll.

Az üstökös fejének (kóma és mag együtt) térfogata sokszorosan, sőt sok ezerszeresen nagyobb Földünknél, a csóva ennél még nagyobb méretű lehet.

A közölt rajz az üstökös térbeli pályáját ábrázolja. Mint ebből látható, valahol a Merkur-pályán belül metszi át az ekliptikát, ott, ahol nem tartózkodhat bolygó. A Földet messze elkerüli, mert a 86 millió kilométer legfeljebb kozmikus mértékkel mérve mondható csekélynek. Ahhoz túlságosan is nagy, hogy bármilyen módon veszélyeztethetné Földünket. Különben is az üstökösveszedelem sokkal inkább képzelet dolga, mint valóságos fenyegetés.



1. ábra. Az Arend—Roland üstökös térbeli pályája. Az egyes dátumok a bolygópályákon a Merkur, Vénusz és a Föld helyzetét ábrázolják. Az üstökospályán a földközelség idejére jelöltük be az üstökös helyzetét.

JULIUS DICK

A MAI MERIDIÁNASZTRONÓMIA FELADATAI*

Mélyen tisztelt Hölgyeim! Titkár Úr! Uraim!

Kedves Kolléganők és Kollégák!

Engedjék meg, hogy az alkalomból, hogy az országaink közti kultúrcsere keretében az NDK csillagászainak képviseletében elsőnek önökhöz beszélhetek, nagy örömem és köszönetemet kifejezzem. Köszönetem szól továbbá Detre igazgató úrnak, aki engem az előbb oly kedves szavakkal köszöntött és aki engem két éve, a pulkovói csillagvizsgáló megnyitásakor egy budapesti látogatásra meghívott. Szól nem utolsósorban a Magyar Tudományos Akadémiának azért a nagyszerű és vendégszerető fogadásáért, melyben itt engem szokás szerint részesítettek. Jogosan mondhatom, hogy szokás szerint, mert ez nem az első alkalom, hogy az önök országában és ezen város falai közt tartózkodom. Még ma is sokszor visszaemlékezünk, a feleségemmel együtt, azokra a csodálatos napokra, melyeket Budapesten, Egerben és a Balatonon töltöttünk 1930. augusztusában az Astronomische Gesellcshaft 29. gyűlésén. Az akkori éjszakai megérkezés hajón Budapestre, a folyó jobb- és balpartján a város csillogó fényeivel, az egri székesegyház megtekintése, az egri fogadtatás, ahol a vendégeket cigányzenekar köszöntötte és végül a badacsonyi borkostoló és az ehhez csatlakozó búcsúeste Balatonfüreden, felejthetetlenek maradnak és még ma is hálásak vagyunk értük.

Azóta egy negyed évszázad telt el, forradalmi jelentőségű történelmi eseményeknek voltunk szemtanúi. Egy azonban változatlan maradt, és reméljük a jövőben sem fogják az események megváltoztatni: a szoros és barátságos kötelék, mely a Földünk összes csillagászait összeköti. A csillagászat nemcsak a legrégibb tudomány, hanem kiemelkedik azáltal is a természettudományokkal foglalkozó testvértudományai közül, hogy művelői egy nagy családot alkotnak, melynek tagjai személyes ismeretség, de legalábbis levelezés útján egymással kapcsolatban vannak. Nemzetközi konferenciák, meghívások és tanulmányi utazások járulnak hozzá, hogy ezek a kapcsolatok megmaradjanak és újakkal szaporodjanak. Így nagy örömünkre szolgált, hogy Detre igazgató úr annak idején nálunk, Babelsbergben, tartózkodott hosszabb ideig, tanulmányait végezvén, és reméljük nemsokára újabb fiatal kollégáinkat köszönthetjük köreinkben. Járjanak e szándékaink minél előbb sikerrel és járuljanak hozzá a fiatalabb csillagászati generáció tagjai is a tradicionális kollégiális kapcsolatok továbbfűzéséhez.

*

A mai előadásom témája Detre igazgató úr egy közléséhez kapcsolódik, mely szerint annak idején Pulkovóban velem közölte, hogy a budapesti Konkoly Csillagvizsgáló a magyar geodétákkal karöltve egy meridián-csillagászati osztályt szándékszik felállítani és szó van a hozzá szükséges műszerek beszerzéséről is. Ez a szándék nagy örömmel köszönthető, különösen a mai napokban, amikor a csillagászatban a résztudományok művelése igen erősen a fizika oldalára tolódott el.

*

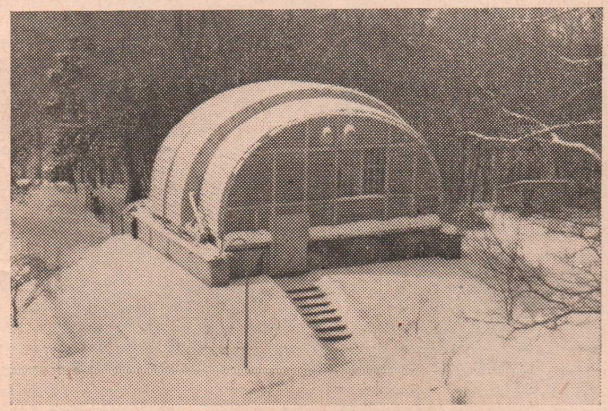
Ha a pár évtizeddel ezelőtti csillagászati kiadványokat, vagy az Astronomische Nachrichten és más hasonló folyóirat korabeli számait lapozgatjuk, mindjárt feltűnik, hogy a dolgozatok legnagyobb része pozíciós-csillagászattal és ezen belül is. különösen a meridián-asztronómiával foglalkozik. Valójában századunk első negyedéig egy reprezentatív, kutatómunkával foglalkozó csillagvizsgáló elképzelhetetlen volt meridián-asztronómiai műszerek nélkül. Legalábbis egy törtcsövű átmeneti műszer mindenütt található volt. Olyan kutatóintézetek, melyek

* **Julius Dick** professzor a magyar—német kultúrkapcsolatok keretében Budapesten tartózkodott, mely alkalommal fenti előadását tartotta. (A fordítás **Guman István** munkája.)

nem foglalkoztak általános csillagászattal, hanem egy speciális részletkérdést vizsgáltak, és felszerelésük is ehhez volt szabva, nem is nevezték magukat csillagvizsgálónak vagy obszervatóriumnak, hanem nevűk mindig magábanfoglalta a speciális kutatóterület elnevezését is, mint pl. Astrophysikalisches Observatorium, Solar Observatory stb.

A 20-as évektől kezdve lényegesen megváltozott a helyzet. Tanulságos lesz nemcsak a látható szimptómákat leírni, hanem ezek okát is megvizsgálni. Ezzel kapcsolatban olyan tapasztalat említhető meg, mellyel mi idősebb csillagászok a környezetünkben, sajnos, gyakran találkozunk: Ez az érdeklődés hiánya, melyet a csillagászati utánpótlás teljesen függetlenül az észlelés céljától, az éjjeli megfigyeléssel szemben tanúsít. A csillagászat azonban gyakorlati tudományág. A legjobb képességű teoretikus és a legzseniálisabb modellszámoló is, ha nem akar elméleti igazolásánál a spekuláció légüres terében mozogni, az észlelő művészetére van utalva. Mi volt tehát az oka a meridián-asztronómiai és poziciócsillagászati dolgozatok kétségkívül megállapítható számszerű csökkenésének?

Vessünk e kérdés megválaszolása előtt egy pillantást az általában vett csillagászati problémák történelmi fejlődésére. Kutatásaink központi kérdése, melyhez minden más csak eszköz, legrégibb időktől kezdve a mai napokig és a jövőben is a helyzetünk a világegyetemben. Világegyetem alatt eleinte a Naprendszert, később pedig a lokális csillagrendszert értették. Ma a galaktikák rendszere áll az előtérben, melyet talán holnap az extragalaktikák eddig még nem ismert szisztémái fognak felváltani. A fejlődés menete mindig ugyanaz volt. Először tiszta kinematikai módszerekkel a mozgásokat vizsgálták és csak ezután fejlesztették ki a mechanikai törvények segítségével az illető „világegyetem" dinamikáját. Ezekkel a szavakkal már fel is vázoltam, miért igyekeztek — és mindjárt hozzáteszem, kell a jövőben is igyekezzenek — a csillagászok minél több, lehetőleg legpontosabb csillagpozíciót gyűjteni, legyen az közvetlenül meridiánkör megfigyeléssel, vagy a mai szokás szerint közvetve, a fényképezés segítségével. Minden mechanikai mozgás praktikus vagy elméleti vizsgálata egy alap tér—idő koordináta-rendszer felállítását kívánja, melyben az időskála mellett a jelenség térbelileg is pontosan rögzíthető kell hogy legyen. A fizikusnak könnyebb a dolga: a mozgások követéséhez és mozgástörvények tanulmányozásához egy tetszőleges pontot választhat, melyből kiindulva a kívánságnak és célnak legmegfelelőbb koordináta-rendszert építheti fel. A legkényelmesebb természe-



2. ábra. A berlin—babelsbergi csillagvizsgáló meridiánépülete

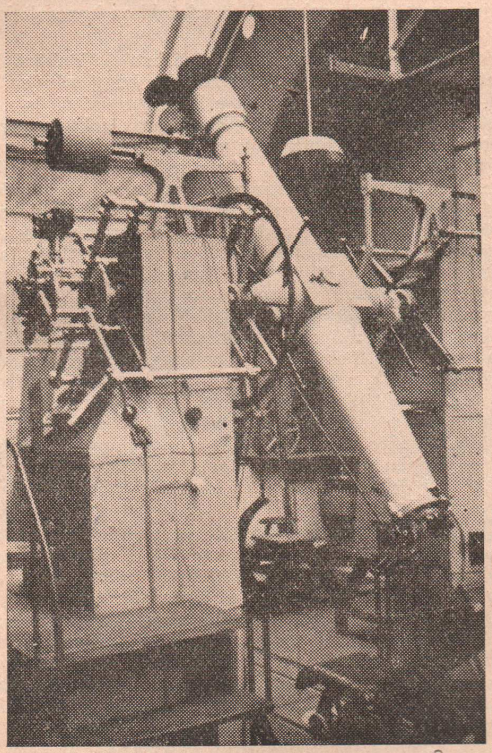
tesen, ha a koordináta-kezdőpont és lehetőleg az egész koordináta-rendszer nyugalomban levőnek és változatlannak tekinthető. A csillagász azonban a kozmikus térben lejátszódó mozgások esetében nem járhat el ilyen egyszerűen. Koordináta-rendszerét nem választhatja meg tetszése szerint és nem rendelkezik a világegyetemben egy az időtől független, nyugvó kiindulóponttal. Sőt ellenkezőleg, koordináta-rendszerét az állandó mozgásnak és változásnak alávetett világegyetemben kell elhelyeznie. Az ily módon szerkesztett koordináta-rendszer lesz az alapja minden, a világűrben történő mozgást tárgyaló vizsgálatnak. E rendszer rögzítése és javítása, állandó újabb és újabb észlelések segítségével a pozíciós csillagászat, de főleg a meridián-asztronómia főfeladata. Ezek után érthetővé válik részünkre is, miért kellett elődeinknek a meridiánkör mellett olyan hatalmas tömegmunkát végezni. Semmi sem áll távolabb tőlünk, mint az, hogy őket emiatt lenézzük, mert talán ez a munka a mai csillagász utódok szemében céltalannak és tervszerűtlennek látszik. Abban az időben nagy szükség volt tájékozódási pontokra, melyek segítségével rendet tudtak teremteni a rohamosan növekvő számú kisbolygók között és ebből a szempontból nézve ez a tömegmunka nem volt egyáltalán célnélküli, hanem ésszerű és hasznos. Ma már haszontalannak minősülne rendszertelenül és a legszélesebb diszkusszió nélkül a meridiánkörön állandó megfigyeléseket végezni. A modern metodika inkább ezt kívánja: egy jól megtervezett észlelési programot a lehető legrövidebb idő alatt elvégezni és ez idő alatt minél több műszert ugyanazon cél vizsgálatára beállítani. Végül az egyes elért eredményeket az észlelési berendezések legélesebb kritikája mellett összefoglalni. Itt észlelési berendezés alatt az észlelő és műszerek együttesét értem.

Ezután a metodikai kitérés után azonban térjünk vissza a csillagászati fundamentális koordináta-rendszer felállításához, melyet, mint már fentebb említettük, a világegyetemben rögzített fixpontok hiányában, egy mozgásban levő égitestekből álló rendszerhez kell kössünk. Ezért *Anding* az „Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften" részére írt, koordinátákról és időről szóló fejezetben, a fundamentális koordináta-rendszert tisztán csak megfigyelésekből szeretné levezetni, azon definíció segítségével, hogy ebben a rendszerben a csillagok átlagosan egymáshoz viszonyítva nyugalomban vannak. Mivel a csillagok sajátmozgása a távolságaikhoz képest kicsiny, egy ilyen empirikusan meghatározható heliocentrikus koordináta-rendszer a naprendszer határain belül végzett vizsgálatoknál bírna csak értelemmel. Más oldalról viszont csak tisztán elméleti úton is definiálható ez a fundamentális koordináta-rendszer, azzal a követelménnyel, hogy az égitestek mozgása a hibahatárokon belül teljesen megegyezzék a newtoni mechanika által megkívánttal. Mivel a *Newton*-féle törvények teljesen függetlenek a koordináta-rendszertől, ez az elméleti rendszer, melyben a koordináták ideálisan előállíthatók az idővel, mint paraméterrel, azonos lesz a klasszikus mechanika inercia-rendszerével. Ez utóbbi rendszer például a következőképpen volna elképzelhető: Koordináta-középpont a Nap középpontja, xy-sík a földpálya síkja, a perihelium irányvonallal, mint abszcisszával. A háborgatásoktól eltekintve, ebben a rendszerben a *Kepler*-törvények volnának érvényesek, a bolygók a Nap körül ellipszispályákon mozognának. De ezzel be is zárul a kör: mert ha észlelés segítségével meg tudjuk határozni az inercia-rendszerhez rögzített pályákat, akkor már az utóbbit magát is ismerjük.

Mint azt már tudjuk, a csillagászok a fundamentális koordináta-rendszerük felállításánál nem választották sem az empirikus, sem a teoretikus módszert, hanem az ezek közötti középutat, oly módon, hogy az empirikus koordináta-rendszert mintegy összekötő láncszemként használták fel. Az egyenlítő- és tavaszpont mozgásában fellépő precesszió és nutáció kis tagjait tisztán elméleti úton számítjuk ki, mivel így sokkal jobban és könnyebben határozhatók meg, mint empirikus úton történő észleléssel. Azonban a földellipszoid forgástengely változását leíró főértékek meghatározásánál az észlelésre vagyunk utalva, mivel

a tömegeloszlást a Föld belsejében még nem ismerjük. A dolgok mai állása mellett a precesszió- és nutáció-konstans meghatározása ezek szerint tehát csak empirikus úton lehetséges. Így jutottunk a csillagászatban a fundamentális koordináta-rendszer megállapítása közben az elmélet és észlelés összekapcsolásához és újból felismerjük az előbb mondottak helyességét: a fundamentális rendszer javítása és rögzítése a praktikus csillagászat egyik legszükségesebb és a meridián-asztronómia főfeladata, mert az elméletben, ahol az analitikus kifejtés véglegesen rögzítve van, csak esetleges, a tömegek vagy pályaelemek javításai által előidézett számbeli változások léphetnek fel.

A Naprendszeren belüli térrészben minden elméleti vizsgálat alapsíkjául az ekliptika síkját választja, és ezáltal ennek bizonyos mechanikai értelmet tulajdonít. Viszont ezzel szemben az észlelés adatait mindig a Föld forgása által meghatározott, és a fundamentális csillagok rendszerére karakterisztikus égi egyenlítőre vonatkoztatjuk, melyet eszerint tehát empirikusan határozunk meg. E két síknak a metszésvonala adja meg a nulliránytt. Itt is megint látjuk, hogy a csillagászat fundamentális koordináta-rendszere a középút az elmélet és az észlelés



3. ábra. A berlin—babelsbergi csillagvizsgáló *Pistor—Martin*-féle meridiánköre. Ez a felújított és modernizált műszer olyan berendezéssel van felszerelve, mely a vizuális körleolvasásokat fotografikus úton regisztrálja

között; definíciójához mind a két módszer szükséges. Az inercia-rendszer síkja az ekliptika síkja, mely mechanikai úton van kijelölve, és elméleti úton követhető; a nullavonal, de ennek mozgása már csak észleléssel, a precessziókonstans segítségével határozható meg. Ennek alkalmazása és használata segítségével az empirikus észleléseket az elmélet inercia-rendszerére redukálhatjuk. Ezzel be is fejezem a meridián-asztronómia jelentőségének ismertetését.

Mielőtt azonban rátérnék azokra az egész újszerű feladatokra, melyekhez a meridián-asztronómia az utolsó negyed évszázadban, az égbolt tényleges fixpontjait tartalmazó koordináta-rendszer szükségességét felismerve jutott, ismertetem az e területen történő vizsgálatok eddig használatos módszereit. Minden egyes pozíciómegfigyelés, függetlenül attól, hogy azt milyen műszeren végezték, nem adhatja meg nekünk a csillag helyét a térben, csak az irányt, mely irányban az objektum látszik és mely irányból a fény hozzánk érkezik. Ennek az iránynak a rögzítése, a hozzá tartozó időponttal a tartalma és fogalma az egyes szférikus-csillagászati észlelésnek. Ámbár a mért irány magában véve abszolút, de rögzítése csak az égbolt egy főkörének és nullakörének segítségével történhet, melytől a koordináta számítását kezdjük. Az általános eljárás szerint a szférikus koordinátákat adjuk meg, egy részben földi adatokhoz kapcsolt koordináta-rendszerben.

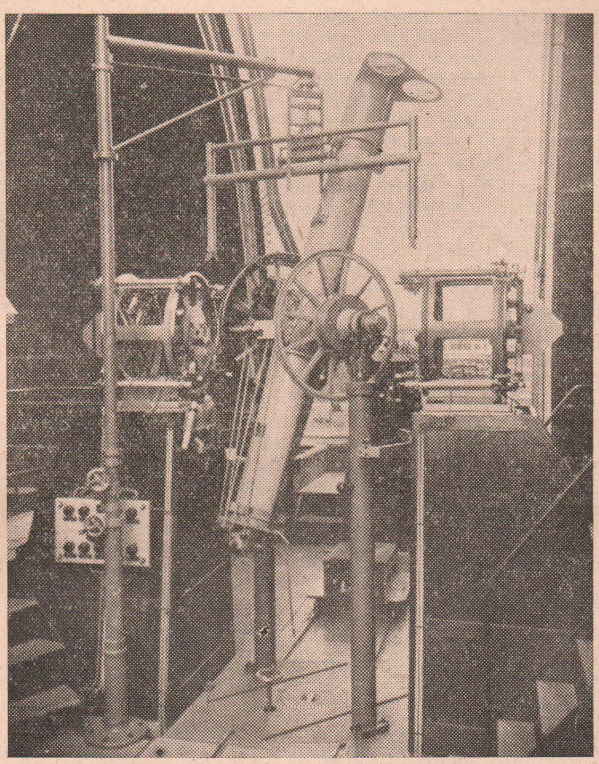
Itt nem tekinthetem feladatomnak a kínálkozó különböző közismert módszerek megvitatását és ismertetését. Azt tudják, hogy minden észlelőnek arra kell törekednie, hogy a csillag pozícióját a Föld forgásától és a napszakok változásától független egyenlítői koordinátákban, azaz *rektaszcenzióban* és *deklinációban* határozza meg, vagy valamely módszer szerinti más mérést az ehhez szükséges átszámításokkal adjon meg. Az a műszer, mellyel e két koordinátát egymástól függetlenül mérni lehet: *a meridiánműszer*. Itt külön ki kell emelnem a *független* szót. Mert a rektanszcenziót és deklinációt refraktoron való észleléssel is meg lehet határozni, de csak akkor, ha olyan szomszédos égitestek is rendelkezésünkre állanak, melyekhez a mérendő csillagot csatlakoztatni tudjuk. Egy refraktorészlelés tehát eleve feltételez egy ismert koordinátájú szférikus pontot, melyhez viszonyított különbségmérésekkel az új mérés helye meghatározható. Ha azonban nincsenek ilyen csatlakozási lehetőségeink, ha tehát egy olyan csillagász helyzetében vagyok, aki első alkalommal akarja az égboltot egy egyenlítői koordináta-rendszerrel behálózni, hogy ehhez viszonyítva adja meg a csillaghelyek koordinátáit, akkor egyes-egyedül csak a meridiánműszeremre vagyok utalva. *Mert csak a meridiánkör segítségével lehet — természetesen egy az időkoordináta folyását mutató órával egyetemben — minden előbbi méréstől függetlenül, a meridiánátmenetek magasság és időpont szerinti észlelésével az úgynevezett abszolút, minden más adattól független egyenlítői koordinátákat meghatározni.* Milyen úton lehet ezt elérni és hogy történik az abszolút pozíciómeghatározás a meridiánkör segítségével?

Mivel mi csak az egyenlítői koordináták meridiánkörön való meghatározásának elvével akarunk foglalkozni, a műszerfelállítási hibáktól és ennek tekintetbevételétől eltekintünk, és feltételezzük, hogy műszerünk meridiánja teljes pontossággal egybeesik az észlelőhely valóságos meridiánjával. Ekkor egy cirkumpoláris csillag felső és alsó delelése közt eltelt időköz pontosan 12^h csillagidő lesz, és egy csillag α rektaszcenziója felső deleléskor azonos lesz egy teljesen pontosan járó csillagóra által ugyanakkor mutatott Θ időponttal: $\alpha = \Theta$ és a δ deklináció az ugyanakkor mérhető h meridiánátmenet magasságából, illetve ennek kiegészítőjéből a Z meridián-zenittávolságból a következő összefüggések segítségével kapható meg:

$Z = +(S-\delta)$, ha a felső delelés a zenittől délre esik,
$Z = -(S-\delta)$, ha a felső delelés a zenittől északra esik,
$Z = 90^\circ\ (S-\delta)$, alsó delelés esetén.

Ámbár ezek az összefüggések könnyen olvashatók, mégis tartalmaznak egypár

nem jelentéktelen kérdőjelt is. Először is még nem ismerjük a sarkmagasságot, mely a pólustengely, illetve az égi egyenlítő helyzetét a horizonthoz megadja. Ezt azonban mindjárt különösebb nehézség nélkül meghatározhatjuk, ha középértékét vesszük ugyanazon cirkumpoláris csillag alsó és felső delelésben mért magasságának, illetve zenittávolságának. *Ily módon tehát a fundamentális vagy abszolút deklináció különösebb elvi nehézség nélkül meghatározható.*



4. ábra. Az ucclei csillagvizsgáló (Belgium) Askania gyártmányú meridiánköre. A kép a műszert átforgatás közben ábrázolja

Egész más a helyzet azonban a fundamentális rektaszcenzió esetében. Még akkor is, ha csillagóránk egész kifogástalan, járása a Föld forgásának egyes fázisait teljes pontossággal adja vissza, nem tudjuk, hogy óránk tényleg az igazi csillagidőt mutatja-e, azaz, hogy az óra állása tényleg nulla, mert még nem tettünk semmilyen megállapodást arra nézve, hogy honnan számítsuk a csillagidő nullpontját. Itt egy elvi és igen fontos különbség mutatkozik a között, hogy a rektaszcenziót vagy a deklinációt határozzuk-e meg csillagóra segítségével a meridiánkörön. Láttuk, hogy a csillagóra a rektaszcenzió, a kör pedig a deklináció meghatározására szolgál. Ha a fundamentális koordináták meghatározására törekszünk, akkor az abszolút deklináció eléréséhez a kör leolvasása ele-

gendőnek bizonyul, mivel a sarkmagasság az előbb mondottak szerint ismertnek tehető fel. Más a helyzet azonban az abszolút rektaszcenzió esetében. *Itt az óra egyedül már nem elegendő, mert a legjobban járó óra is, már a mérés jellegéből kifolyólag, csak rektaszcenzió különbségeket adhat.* Ez a fundamentális rektaszcenziórendszer felállításánál mutatkozó nehézség a fundamentális deklinációrendszer meghatározásával szemben egész természetes. Mert amíg az utóbbi meghatározásához az égbolton két, minden észlelőhelyre jellegzetes *fixpont* áll rendelkezésünkre, melyek a számlálás nullpontját adják, vagy ezzel kapcsolatba hozhatók, tudniillik a *pólus* és a *zenit*, ill. nadir, addig a fundamentális rektaszcenzió rendszer esetében ilyen pontoknak hiányában vagyunk, még akkor is, ha kisegítésképpen a rektaszcenzió-számlálás nullkörét egy tetszőleges csillagon fektetjük át. Ekkor már tudniillik nem jelentene semmilyen elvi nehézséget egy jól rendezett és hibamentes rektaszcenzió rendszer felállítása, órával mért meridiánátmenet időkülönbségek segítségével. Ezt a tényállást mindig a következő szavakkal szoktam jellemezni: az óra mint a rektaszcenzió mérés karakterisztikus műszere, *szükséges, de egyben elegendő is arra,* hogy a fundamentális rektaszcenzió rendszeren *belül* tájékozódást adjon és ezt pontosan meghatározza. Ezt a rendszeren *belüli* tájékozódást azonban egy *kifelé* irányuló helyreigazítás, azaz egy rendszeren kívüli tájékozódás kell kövesse, mely által ez a már jólrendezett rendszer egy, a számláláshoz szükséges kiinduló pontot kap. Tehát másra van szükségünk, mint az előbb említett hipotetikus csillagra, mely az égboltnak nem fixpontja, és melynek mozgása sem ismeretes és számolás segítségével sem határozható meg. A rektaszcenzió számítás nullpontjának a változása, ha egyáltalában ilyen várható, elméleti és empirikus módszerekkel követhető kell hogy legyen, mint azt már fentebb is kifejtettük. Ez a követelmény a tavaszpont esetében, mely az ekliptikai és egyenlítői síkok metszésének az égbolttal alkotott döféspontja, fennáll. Ez tehát a közvetítő pont, melynek segítségével az észlelt rektaszcenziókülönbségeket tényleges rektaszcenziókká tudjuk változtatni, és a *belül* rendezett rendszernek befejezésül egy *kifelé* irányuló tájékozottságot is tudunk adni. A tavaszpont meghatározásához napmegfigyeléseket kell végezzünk. Legyen A a Nap rektaszcenziója, D a deklinációja és ε az ekliptika ferdesége, akkor a következő összefüggés érvényes:

$$\sin A \operatorname{tg} \varepsilon = D.$$

Mivel D mérhető, elvileg két napmegfigyelés elegendő volna az A és ε ismeretlenek meghatározásához. Éspedig az A meghatározása esetén arra kell igyekeznünk, hogy az észleléseket a napéjegyenlőségek idején végezzük, amikor A változása gyors. Az ε ferdeség meghatározása esetében viszont az észleléseket a napfordulók idejében ajánlatos végezni, amikor is az A hibája kis hibát von maga után az ε meghatározásánál, mivel a szinusz ekkor lassan változik. Utóbbit azonban csak mellékesen említettük, mivel az ekliptika ferdeségének meghatározása további tárgyalásunkban nem fog szerepet játszani.

Legyen szabad még egyszer megismételnem: *amíg a fundamentális deklinációrendszer megállapítása a körrel egyedül semmilyen elvi nehézséget nem okoz, addig a rektaszcenzió rendszeré két lépésben kell megtörténjen az óra + kör segítségével.* Először is az órával mért rektaszcenzió-különbségek felhasználásával a rendszeren belül rendezünk és utána az egész rendszert a napmegfigyelések által ismertté vált tavaszponthoz igazítjuk. A történelem folyamán azonban kissé másképp, mondhatnám éppen fordítva jártak el.

A nappal folyamán a napmegfigyelések alkalmával a Naphoz közeli csillagokat is észlelték. Ezek rektaszcenziókülönbségei a Naphoz viszonyítva nem lehettek túlságosan nagyok, tekintettel az abban az időben még kevéssé megbízható és egyenletesen járó órákra. Végül ezekhez a csillagokhoz csatlakoztatták a fundamentális csillagrendszer többi csillagát is.

A Nap- és csillagmegfigyelések egymáshoz kapcsolása azonban egy kissé bajos. Már a Napmegfigyelés maga is ki van téve bizonytalanságoknak, mivel az

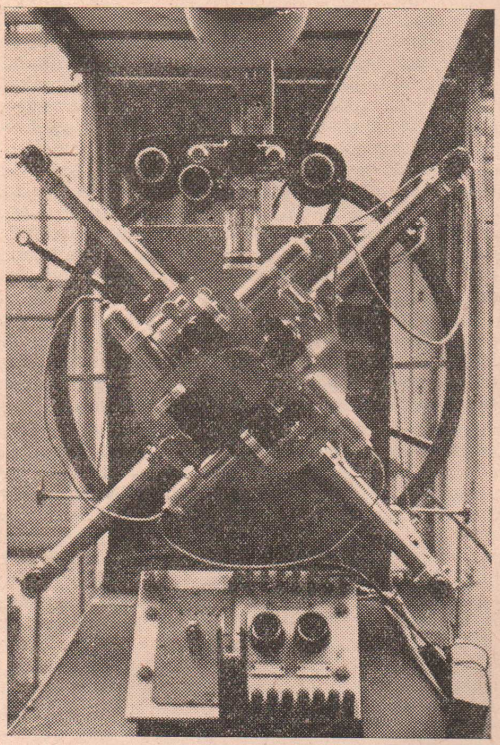
állandóan hullámzó, és ezért nehezen megfigyelhető Napperem különböző észlelőknél más és más eredményekre vezethet, különösen a jól kivehető pontszerű csillagokhoz viszonyítva. Ezenfelül azonban még az a veszély is fennáll, hogy a nappali és éjjeli csillagmegfigyelések közt szisztematikus, személyenként változó különbségek is fennállhatnak, melyeket sem kísérleti módszerekkel, sem a legélesebb kritikai vizsgálatokkal teljesen kiküszöbölni nem lehet. Szerencsére mi, mai csillagászok, már nem állunk olyan feladat előtt, mint az előzőkben elképzelt tudós, aki azt tűzte ki feladatául, hogy elsőnek vezesse le az állócsillagok fundamentális rendszerét. Ma már ez birtokunkban van, és nekünk utódoknak csak az a feladatunk, hogy ezt az utóbbi kétszáz év abszolút katalógusain nyugvó fundamentális rendszert a legmodernebb megfigyeléstechnika alkalmazásával egyénileg rögzítsük, és szisztematikusan javítsuk, nem tévesztve szem elől természetesen a megfigyelések abszolút és fundamentális jellegét. Ezzel azt akarom mondani, hogy nem elegendő a jelenlegi katalógusok pozícióit lényegében helyesnek tekinteni, és csak ezek javítását feladatunknak tartani, hanem az észlelések végzésénél ezek abszolút jellegét feltétlenül meg kell őrizni. A mai kvarcórák segítségével már több órát, sőt több nap időtartamot is át tudunk hidalni. Ezért az óra járását illetőleg minden nehézség nélkül összeköthetők az éjjeli és nappali észlelések, azon esetben, ha utóbbiakat még egyáltalában szükségesnek tartjuk. Mert ma már a fundamentális rektaszcenziórendszer orientációjához nem a Napmegfigyeléseket használjuk, hanem ezt néhány, természetesen jól ismert pályájú kisbolygó segítségével végezzük, melyek a csillagszerű kinézésük folytán nincsenek a személyi hibák hatásának úgy alávetve, mint a Napperem észlelése. A kisbolygópálya tehát az ekliptikát helyettesíti, melyen eredetileg alapult, és a fundamentális csillagrendszer alapján kiszámított kisbolygó pozíció most megfordítva megint a tavaszpont meghatározására szolgál.

Ezzel a problémával szándékosan foglalkoztam részletesebben, talán sokak részére Önök közül túl részletesen is, de szerettem volna Önöknek megmutatni, hogy mennyire fontos és mennyire érdemes is ma — némely járatlan által nem éppen kedvelt — a mechanikus és praktikus csillagászat problémáival való foglalkozás. Másrészt most már meg is fogják érteni — és ezzel visszatérek az elején feltett kérdésemre, hogy miért nem foglalkoznak a csillagász utánpótlás tagjai előszeretettel meridiánmegfigyelésekkel — erős lemondás és sok áldozattal járó odaadás kell ahhoz, hogy valaki legkevesebb öt-tíz évig egy nem éppen könnyűnek mondható megfigyelési munkára adja magát, hogy egy hosszú és fárasztó észleléssorozat végén egypár tizedes értékű javítást kapjon a tavaszpont vagy a fundamentális rendszerünk egyenlítői pontjának értékére. Érthető, hogy a mai népszerűség hajszolás mellett egy fiatal csillagász arra szeretne törekedni, hogy nevét minél többször — legyen az egy kis ésszerű közlemény segítségével is — a tudományos szakirodalom ismertté tegye. Annál inkább az arra hivatottak feladatául tartom az ilyen fiatalemberek pályájának minden módon való támogatását, melyek a fáradságos és sohasem olcsó babérokat és gyors eredményeket igérő, meridiánmegfigyelés munkájának szentelik magukat. Mert az utóbbi nélkül minden kérdés, mely a minket környező világot és ennek mozgását kutatja, előbb-utóbb felelet nélkül fog maradni.

Néhány szó elegendő lesz, hogy az abszolút meridiánmegfigyelés metodikai jellemzése után a relatív, azaz csatlakozó észlelések elnyeréséhez szükséges munkamódszert is ismertessem. Itt rektaszcenzióban az óra, deklinációban a kör magában is elegendő, hogy tisztán csak különbségeken alapuló csatlakozásokkal, az óra segítségével mért időkülönbségekkel vagy a kör segítségével mért szögkülönbségekkel, tetszőleges számú és az égbolton tetszőleges eloszlású csillagot a most ismert pozíciójúnak feltételezett csillagokból alkotott fundamentális rendszerbe beillesszük. Elvi nehézségek nem lépnek fel, és csak a praktikus kivitelezés kíván bizonyos elővigyázatos intézkedéseket. Ezek közül csak azt szeretném emlékezetükbe idézni, hogy a csatlakozást keskeny zónákban lehet csak

keresztülvinni és hogy a műszerek szisztematikus viselkedését legszigorúbban ellenőrizni kell az úgynevezett *Küstner*-féle sorozatokkal.

Eddigi fejtegetéseim a meridiáncsillagászat feladatairól és munkamódszereiről e tudományág klasszikus részéhez kapcsolódnak. A továbbiakban szeretném önökkel azokat az újszerű utakat is megismertetni, melyek az utolsó két

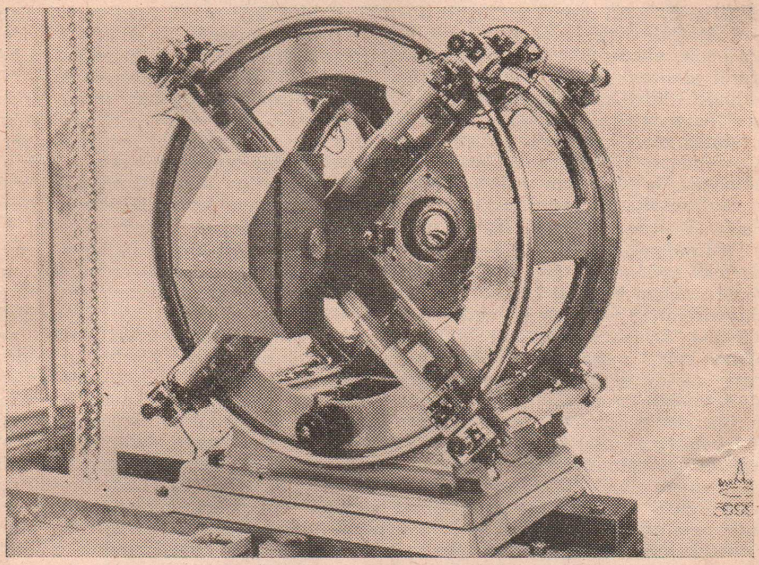


5. ábra. A berlin—babelsbergi meridiánkör újonnan szerkesztett körleolvasó berendezése. A négy mikroszkóp segítségével a körleolvasások vizuálisan történnek, csak a leolvasott érték regisztrálása történik fotografikus úton, az ábra felső részén látható fotografikus berendezéssel. Az ily módon történő körleolvasás a tapasztalatok szerint gyorsabb és pontosabb, mint a klasszikus meridiánasztronómiában használt tisztán vizuális módszer

évtizedben a meridiáncsillagászatban új fundamentális koordináta-rendszer felállításához megnyíltak. Az a tény is arra az igen nagy fontosságra mutat, melylyel ez a nagyonis aktuális problémakör bír, hogy az első olyan javaslat után, mely a fundamentális csillagászatban az extragalaktikus objektumokat is be akarja vonni, több konferencia is foglalkozott ezzel és egy sor csillagvizsgálóban az ehhez szükséges előkészítő munkálatokat már meg is kezdték. Más, eközben diszkusszió alatt levő tervvel együtt, a tavaly Dublinben tartott IAU-kongresszuson ezt a problémát véglegesen és érvényes határozatokkal letárgyalták,

és a jelen év első felében számos jeles csillagvizsgáló részvételével a munkálatokat el is kezdték.

A kronológikus sorrendet betartva azzal kell kezdjem, hogy 1932-ben egy akkor Pulkovóban ülésező csillagászati konferencián *Nyeprovszkij* és *Geraszimovics* felvetették az — a szerzők saját szavát használva — „ideális" csillagászati fundamentális rendszer szerkesztésének gondolatát, melyet halvány extragalaktikus ködök bevonásával kellene felépíteni. Ezek az égitestek a következő évszázadokra praktikusan változatlanoknak és mozdulatlanoknak tekinthetők. Ezek így belátható időn belül az égbolton tényleges fixpontokat nyújtanak, me-



6. ábra. Az ucclei meridiánműszer fotografikus körleolvasó berendezése. Itt mind a körleolvasás, mind a regisztrálás fotografikus úton történik. A berlin—babelsbergi tapasztalatok szerint a vizuális leolvasás fotografikus regisztrálása pontosabb eredményeket ad, mint ez a tisztán fotografikus módszer, amely az ucclei tapasztalatok szerint sem vált be tökéletesen

lyek segítségével abszolút fundamentális rendszert kaphatunk, melyben például abszolút sajátmozgásokat is tudnánk mérni. Mai fundamentális rendszerünk kicserélése a jövő időkre tervbevétel, természetesen már a dolog mibenléte miatt is, csak lépésszerűen történhet. Az extragalaktikus objektumokat egy halvány csillagból álló hídon keresztül először a jelenlegi rendszerbe kell illeszteni, és visszafelé haladva csak azután vizsgálhatjuk az égbolt így kapott fixpontjainak segítségével, a kozmikus jellegű változásokat és mozgásokat. Közölnöm kell Önökkel, hogy ennek a híd szerkezetének a kérdésében egészen a múlt évig a vélemények igen különböztek, de Brüsszelben és Dublinben sikerült teljes egyetértésben a követendő utat kijelölni. Folytassuk azonban most a pulkovói tervezet további ismertetését.

Miután már régebben, 1938-ban, Pulkovóban tartott konferencián az extragalaktikák e programba való bevonását és e munkának a tervezését és az előmunkálatok megkezdését ajánlotta, azon fáradoztak e csillagdában, hogy az e célra megfelelő, lehetőleg csillagszerű, de mégsem túl halvány extragalaktikus

objektumokat összegyűjtsék. A megfelelőnek tartott objektumok az eredetileg *Kulikivszkij* és *Neujmin* által összeállított és *Deutsch* által véglegesen átdolgozott összeállításbani 313 12—14-ed rendű ködöt tartalmazott, melyek legtöbbjét ködhalmazokból választották ki. Ezzel a munkával párhuzamosan szintén Pulkovóban, *Zverev* két katalógust állított fel, melyek az ezekhez az extragalaktikákhoz kapcsolandó halvány csillagokat tartalmazták. Mind a két katalógusra jellemző a csillagok abszolút egyenletes eloszlása az égbolton és az az igyekezet, hogy csak olyan csillagokat tartalmazzanak, melyeknek nincs, vagy igen kicsiny a sajátmozgásuk. Az első, az egész égboltra kiterjedő katalógus, mely 931 7 és 8,5 nagyságrend közti csillagot tartalmaz fundamentális katalógusul szolgálna és ezért ennek csillagait abszolút módon kell majd megfigyelni. Ezek közé iktatják majd be zónális csatlakozó mérések segítségével a másik, terjedelmesebb katalógus 175 000 csillagát, melyek az egész égboltra kiterjedő sűrű hálózatot alkotnak. E katalógus egy részét, mely 15 355, az Északi-sark és — 30° deklináció közti csillagot tartalmaz, könyvformában már kiadták. Ilyen fundamentális katalógus felállítása, mely halvány, csak éjjel észlelhető csillagokat tartalmaz, ma a kvarcórák idejében nem okoz semmi nehézséget, még akkor sem, ha a rendszer nullpontjának orientációjához Napmegfigyeléseket szeretnénk alkalmazni. A Napperem észlelésének a bizonytalansága kikerülhető, mint már azt említettük, ha Nyepropszkij, Numerov és Brouvers javaslatai szerint megfelelően kiválasztott és jól ismert pályájú kisbolygókat használunk helyette.

A fundamentális katalógus közé iktatandó nagy csatlakozó katalógus *Zverev* szándéka szerint egyrészt sztellárstatisztikai célokat szolgálna — ez minket mai előadásunkban kevéssé érdekel —, másrészt viszont főleg az extragalaktikák és a hozzárendelt csillagok közvetlenül fotografikus úton történő összekapcsolását szolgálná. Ennek elősegítésére főleg olyan halvány csillagokat tartalmaz, melyeknek nagy a színindexe, hogy ily módon ezek a lemezen kisebb feketedést okozzanak és ezáltal a fényességsugárzás az extragalaktikák felé csökkenjen. Kétségtelenül ez a szovjet csillagászok által megnyitott első út, mely a fundamentális rendszertől egy közbeiktatott halvány csillagokból álló lépés segítségével lehetőleg gyorsan az extragalaktikákhoz akart érni, nagyon csábító. Azonban meg kell gondolnunk, hogy először is a csillagok fényszegénysége igen nagy követelmények elé állítja a meridiánkörök észlelési felszerelését, ez alatt a műszer plusz észlelő egységét értve, másrészt viszont, ami nekem még fontosabbnak tűnik, nem szabad figyelmen kívül hagynunk mind a légköri fényszóródás, mind a lencsék kromatikus tulajdonságainak hatását, melyek következtében a sötétvörös csillagok helyei a ködfelvételek lemezein hibásakká válhatnak.

Könnyen érthető, hogy ezt a Pulkovóból kiinduló gondolatot, mely szerint az ideális fundamentális koordináta-rendszer abszolút fixpontjaiként az extragalaktikákat használjuk, másutt is felvetették, különösen az USA e kérdésben erősen érdekelt köreiben. Mindenesetre a fejlődés ott más irányt vett. Épp az előbb mutattam be Önöknek a Pulkovóban kidolgozott, és általam egylépcsős hídnak nevezett tervezetet, mely a mai és jövőbeli fundamentális rendszereket lesz hivatott összekapcsolni: egy fundamentális rendszert, mely halvány 8,5—9,5 nagyságrendű, nagy színindexű csillagokból és 12—14 rendű extragalaktikákból állana. Az USA-ban ennél egy lépéssel tovább mentek. Azzal a megokolással, hogy a még halványabb extragalaktikai objektumok csillagszerűbbek és ezért biztosabban mérhetők, azonkívül az égbolton való eloszlásuk is egyenletesebb, mint a ködhalmazokból kiválasztott fényesebb extragalaktikáké. *Vyssotosky* és *Vasilevski* a Lick-obszervatóriumban egy 14-től 16 nagyságrendig terjedő ködkatalógus összeállítására vállalkoztak. Ez természetesen már nem kapcsolható egylépcsős híddal a fundamentális rendszerhez. A kapcsolatot most kétlépcsősre kell építeni. Először a mi jelenlegi fundamentális rendszerünkbe egypár ezer közepes nagyságrendű közvetítő támcsillagot kell beiktatnunk, melyek az égbolton kedvezően elosztott fixpontrendszert alkotnának. Ezeket már nem is kel-

lene az egylépcsős hídnál említett korlátozó feltételeknek alávetni, mint lehetőleg kis fényerő, nagy színindex és lehetőleg eltűnő sajátmozgás. Mert ezekhez ugyanazon epochában, mint a meridiánészlelések, kapcsolódna fényképező lemezeken a második híd, mely 11—12 rendű csillagokat tartalmazna és csak ez utóbbiakhoz, mint utolsó fokozat igazodnának újabb felvételek segítségével a leghalványabb fokozatot alkotó extragalaktikák. E kétlépcsős hídból álló tervezetnek a szerzői azzal érvelhetnek, hogy, mint azt már az előbb kiemeltem, az első kapcsot alkotó rendszer csillagainak kiválasztásánál nem kell olyan szigorú határokat húzni, mint amikor a halvány csillagokhoz közvetlenül az extragalaktikákat kapcsoljuk. Azonkívül ebben az esetben rendelkezésünkre állna a második hídat képező fotografikus helyek hatalmas anyaga, mely más célokra is, mint például stellárstatisztikai kérdések megoldása, felhasználható lenne.

Önök biztos azt gondolják, könnyű lenne a két ellenkező tervezetet, melyet egyrészről a szovjet csillagászok, másrészről pedig az USA csillagászai állítottak fel, a jelenlegi és a jövő fundamentális rendszerek közti híd felépítésére, egy kalap alá hozni. Itt az igazsághoz híven meg kell jegyeznünk, hogy ehhez a jóindulat nem hiányzott, különösen a pulkovói partnerek részéről, és inkább az amerikai gyakorlati követelmények álltak akadályként az előtérben. Mert mivel a ködfelvételek a Lick-csillagdában fognak készülni, a támcsillagok pozíciómérésére is elsősorban nyugati féltekén elhelyezkedő meridiánköröket vettek tervbe. Viszont *Tucker* halála után a licki meridiánkör elárvult, tehát marad főleg az ottavai kis meridiánkör és a Naval Observatory két köre Washingtonban. Az utóbbi azonban az újabb időkben az elképzelhető legrosszabb körülmények közt dolgozik. Minden oldalról magas épületek veszik körül, és a nagyváros erős párája nagyon megnehezíti az észleléseket. Ezekhez a külső és elkerülhetetlen körülményekhez azonban még olyan dolgok kapcsolódnak, melyeket nem is akartam elhinni, amikor először hallottam róluk. Washingtonban még ma is ugyanazon erős fehér fényű látmezővilágítással észlelnek, mint amivel évtizedek óta ott dolgoztak. Vörös látmezőt, vagy az általam Pulkovóban ajánlott zöld látmezőt, mely a vörös csillagok kómabefolyását a pozícióméréshez lenne hivatva kiküszöbölni, és mely Babelsbergben jól bevált, előttem érthetetlen okokból nem használnak. Ezután nem csodálkozhatunk, hogy a washingtoni meridiánmegfigyeléseknél megengedhető legalsó fényességhatár 8,8 magnitudó, melyet nem léphetünk túl, ha az ottani meridiánkörök bevonására is súlyt fektetünk. Így a *Zverev*-féle összeállítás csillagainak nagy része nem figyelhető, és ezért *Scott*, a Naval Observatory meridián osztályáról, az érdekelt amerikai csillagászok kívánságára új összeállítást készített, mely a washingtoni meridiánkörök teljesítőképességét tekintetbe véve csak 8,8 fényrendnél fényesebb csillagokat tartalmaz. Ezek közvetítő csillagokként szolgálnának az első fokozat és a második lépcsőt alkotó lemezeken kimért csillagok között.

A Scott-féle összeállítás csillagfényességeinek a súlypontja a $6,^{m}5$ és $8,^{m}0$, legnagyobb részük színképe pedig az A és G típus között fekszik. *Zverev* csillagai viszont főleg $8,^{m}0$ és $9,^{m}0$ fényesség közt vannak, és nála leggyakoribb a K színkép típus.

Ez volt a dolgok állása, két program ugyanazon céllal: az extragalaktikák bevonása, de két elég különböző út a régi és új fundamentális rendszer összekapcsolására, amikor 1953 első felében *Heckmann* és hamburgi munkatársai nyilvánosságra hozták tervüket, mely szerint a 30-as évek AG vállalkozását lehetőleg minél előbb megismételni szándékoznak, azaz terve vették egy AGK 3 felállítását. Milyen meggondolások vezették tehát a bergedorfi csillagászokat, és mit szeretnének a tervezet gyors kivitelezésével elérni? Foglalkozzunk először az első kérdésünkkel. Egy rendkívül nagy munkamegtakarítást érünk el, így érveltek a hamburgiak, ha az AGK 3-at az AGK 2-höz nem, mint ahogy az a 30-as években szükségessé vált, az AGK 2 és AGK 1 esetében új műszerekkel és új redukciós rendszerrel vezetjük le, hanem ha az AGK 3-at oly szorosan, mint

ahogy az lehetséges, az AGK 2-höz hozzákapcsoljuk. Ezt úgy érhetjük el, ha ugyanazon bergedorfi és bonni felvételi és mérőműszereket használjuk, és ugyanazon tangenciális pontokat választjuk, mint annak idején. Végül, ha legalább részben ugyanazon támcsillagokat használjuk, sok kiegyenlítési koefficienst egyszerűen változatlanul átvehetünk. És legvégül azt sem szabad elfelejteni, hogy ma még azon szakemberek legnagyobb része rendelkezésünkre áll, akik a 30-as években dolgoztak, és speciális tapasztalataikról későbbi időpontban le kellene mondanunk. És most a második kérdés: mit érünk el azzal, ha az AGK 3, vagy ahogyan ma hivatalosan nevezik az AGK 3 R minél előbb rendelkezésünkre áll? *Heckmann* öt pontot sorolt fel, melyek véleménye szerint, a munka rögtöni megkezdését megokolják. *Legelőször* is tisztán differenciális mérési módszer alapján rövid időn belül a AG-katalógus 180 000 csillagára abszolút sajátmozgásértékeket kapunk, melyek pontossága "±0,"007-et tenne ki. *Továbbá* ezen sajátmozgás értékek segítségével lehetővé válik a régi katalógusok újraredukciója és ezáltal az északi „Geschichte des Fixsternhimmels" hatalmas adatgyűjteménye egy olyan értéket kap, mellyel ma még nem bír. *Harmadszor* az AG-felvételek tartalmazzák egy nagy százalékát a „Carte du Ciel" csillagainak is, és így egy csapásra az AG megismétlésével szinte az egész északi csillagtérképvállalkozást megismételjük és a kívánság és szükség szerint bizonyos problémák részére kiértékelhetőkké válnak a Carte du Ciel csillagai is. A legfontosabb alkalmazási lehetőség azonban *negyedszer* abban kínálkozik, hogy beiktathatóvá válnak az extragalaktikus ködök is, és ezáltal összekapcsolhatók lesznek a fundamentális rendszerünkkel. Nem okozna semmi nehézséget a 16-od rendű ködöket rács segítségével a 8—12 rendű csillagokhoz kapcsolni. Ezzel a negyedik pont fontosságával szemben az *ötödik* pont kissé a háttérbe szorul.

Ha azt határoznánk, hogy a bergedorfi terv kivitelezéséhez közeledünk, ezzel kapcsolatban természetesen rögtön egy kérdés merül fel. Melyiket alkalmazzuk a rendelkezésünkre álló két csillagösszeállítás közül az AGK 3 R vállalkozás meridiánmegfigyeléseinél, a *Zverev*-féle régebbit, vagy a *Scott*-féle újabbat? A kérdés ebben a formában biztos túl élesen van feltéve, mert nem olyan két összeállításról van szó, melyek teljesen különböző csillagokat tartalmaznak. A csillagok egy része könnyen érthető okokból közös, mivel egyszerűen az északi égbolton nincs is annyi egyenletes eloszlású 9 nagyságrendig terjedő csillag, hogy ezekből két tizenegy- és tizenháromezer csillagot tartalmazó katalógus összeállítható legyen. Rangsor csak annyiban állhat fenn, hogy a *Zverev*-féle összeállítás a közös csillagokon kívül egy nagy százalék nagyon halvány csillagot is tartalmaz, melyek megfigyelése Washingtonban, Ottavában, Greenwichben és Párizsban nem lehetséges, míg viszont másrészt *Scott* összeállítása egy egész sor olyan csillagot tartalmaz, mely az előbb említett körökhöz megfelelő lenne, melyek azonban a nagyobb teljesítményű körök részére túl fényesek, és ezért ezeket ráccsal kellene észlelni. A múlt év márciusában tartott brüsszeli konferencia, ahol az összes, meridián-asztronómiában jelentős államok képviselői jelen voltak, feladat volt e tervezet praktikus kivitelezésénél felmerülő kérdéseket megoldani. A megoldást meg is találtuk és a dublini konferencián az illetékes komisszió jóvá is hagyta s így a probléma végleges befejezést nyert.

Eszerint meridiánkörök a fényes *Scott*-csillagokat, a nagyobbak pedig a halvány Zverev-csillagokat veszik át, a közös csillagokat pedig a két műszercsoport között osztják szét. Csak a pulkovói és nyikolájevi műszerek észlelik végig mindkét csoport összes csillagait. Összesen minden csillagot öt műszeren fognak mindkét körhelyzetben mérni, azaz mindegyikről összesen tíz észlelés fog rendelkezésünkre állni. A vállalkozásban, mely a megegyezés szerint napjainkban indul meg és 1961-ig be kell fejeződnie, a következő csillagvizsgálók meridiánkörei vesznek részt: Babelsberg, Bergedorf, Bordeaux, Greenwich, Hersmonceux, Heidelberg, Lund, Nyikolájev, Ottava, Párizs, Pulkovó, Strassburg és Washington. A vállalkozás befejezése után nemcsak egy hatalmas mennyiségű stellárstatisz-

tikailag értékes anyag fog a rendelkezésünkre állni, hanem mindenekelőtt lehetővé válik egy tényleg fix fundamentális koordináta-rendszerre támaszkodva, a távol jövőben abszolút mozgásokat tanulmányozni a világegyetemben. Ezzel új lapot ütöttünk fel tudományunk történetében.

Elérkeztem mondanivalóim végére. A természeténél fogva kissé száraz fejtegetéseim megmutatták Önöknek, hogy milyen fontos, és egyben érdekfeszítő feladatok vannak, ma még inkább, mint régebben, a közelmúltban kissé mostohán kezelt meridiáncsillagászatban.

E problémák leküzdéséhez igazi hús és vér csillagászokra van szükség, akik nem ijednek meg sem az észlelés testi fáradságaitól, sem azon hatalmas számhegyektől, melyek feldolgozása után szerény eredményeiket elérik. Azonban mindezen fáradozások kárpótlásául egyben biztosak lehetnek: Tudományunk fejlődése folyamán sok első közléskor megcsodált és magasztalt tézis felett idővel napirendre térünk.

Azonban megmaradt azok dicsősége, akik *Hipparchos*tól kezdve *Ticho Brahen és Bradley*-n keresztül egész *Köstner*ig, forró szívvel, de hideg ésszel, kiváló méréseket legelmésebben kimerítve, a világegyetemről való tudásunkat és a mozgások megismerését előmozdították. Ők voltak a tudományos haladás úttörői, ők rakták le a mérföldköveket a világ titkainak megismeréséhez vezető úton.

*

Ezután Dick professzor néhány diapozitív képet mutatott be.

Engedjék meg kérem most, hogy befejezésül szóval és képpel két meridiánkört bemutassak és ezzel ismertessem a mai meridiáncsillagászat technikai eszközeit. Nem is nagyon érthetetlen okokból — az ing mindig közelebb van a kabátnál — egyik műszerül a babelsbergi csillagvizsgáló *Pistor*- és *Martin*-féle meridiánkörét választom, egy bár nemsokára százéves, de még ma is egészen kiváló műszert, melyet természetesen modernizálni kellett az új feladatokhoz.

Második például nézzük az Uccle-i csillagvizsgáló Askania meridiánkörét, mely lényegesen fiatalabb, de nem a legújabb az effajta műszerek közt. Ezt inkább a Greenwich-Herstmonceux-ben található *Cock*-féle és a washingtoni héthüvelykes meridiánkörökre lehetne mondani, melyekről azonban minden személyes ismeretség hiányában nem szólhatok.

A bemutatott képek közül néhányat a szöveg közt közöltünk.

Az Élet és Tudomány Kiskönyvtár első kötete

Dr. Gergely Károlyné: **„AMÍG GYERMEKÜNK ISKOLÁS LESZ ...”**

megjelent. 140 oldal. *Ára 8 forint.*

Kérjük azokat, akik a könyvet előjegyezték, vagy a jövőben a Kiskönyvtár köteteit előjegyezni kívánják, hogy a könyvek árát, *feltüntetve rajta a kívánt könyv címét*, a 91.915.273—50 sz. postabefizetési lapon küldjék be a kiadónak (Gondolat Könyv-, Lapkiadó és Terjesztő Vállalat, Bp., VI., Révay utca 16.).

Azért kérjük a könyvek árát előre, mert ebben az esetben a kiadót terhelő csekély postaköltséggel el tudjuk juttatni a könyveket a megrendelőhöz. Ellenben ha utánvéttel küldjük, akkor a megrendelőt 4—5 forint postaköltség terheli.

Saját érdekükben kérjük tehát azokat is, akik már előjegyezték a Kiskönyvtár valamelyik kötetét, hogy a megrendelt könyv árát a fenti számú csekklapon fizessék be.

A Kiskönyvtár következő könyve: *Az űrhajózás.* Megjelenik augusztusban. Ára 10 forint.

A HUSZADIK SZÁZAD CSILLAGÁSZATA

II. (befejezés)

A múlt szám általános bevezetője után most a problémák és eredmények történetét vesszük sorra, nagyjából 1930-ig. E három évtizeden belül is elsősorban azokat a vívmányokat tárgyaljuk, amelyek a *Világmindenség szerkezetének* kutatása szempontjából lényegesek, tehát a bevezető rész szerint az „első főeredmény" körébe vágnak. A száraz adatok felsorolása helyett inkább a problémákat, a kutatás légkörét, hangulatát szeretnénk éreztetni; ezért nem fogunk visszariadni egy-egy anekdota, egy-egy szellemes megállapítás felelevenítésétől sem.

A mostani, második részben a következőket tárgyaljuk: Először a század nóváiról szólunk, inkább „hangulati jellegű" bevezetésként; utána a napfizika haladásáról, majd a csillagok állapothatározóinak megállapításáról, ez utóbbiról fontosságának megfelelő részletességgel. Az intersztelláris anyag fizikája vezet át bennünket a csillagok rendszereihez, az ún. sztellárasztronómiához. Erről szólva először a Tejútrendszer felépítéséről lesz szó és az új, nagy műszerekről, melyeket a kutatás szolgálatába állítottak; rövid kitérőképpen megemlékezünk *Karl Schwarzschild* nagyszabású életműveről; végül a Mindenség szerkezetének felderítéséről, a Tejútrendszeren kívüli Univerzum megismeréséről beszélünk.

A nyitány: Nova Persei 1901

Az „asztrofizika századát" nevezetes asztrofizikai esemény vezette be, mintegy szimbolizálva a későbbi évtizedek kutatásának ezt a fő vonalát. 1901 februárjában, alig néhány héttel a század kezdete után, harmadrendű fényességű „új csillag" tűnt fel a Perseus csillagképben. Másfél nappal később felülmúlva az átlagos elsőrendű csillagot, elérte a Capella fényességét. Ez volt a fényesség maximuma, utána gyors csökkenés következett. A felfedezést megelőző éjszakán fénykép készült az égbolt ugyanezen részéről, de ezen még nyoma sem volt a nóvának. Így a felvétel adataiból következik, hogy a felvillanást megelőzően a csillag 12-ed rendnél halványabb volt, fényessége tehát huszonnégy óra alatt legalább 4000-szeresre nőtt.

A csillagot igazán lelkesen fogadták az asztrofizikusok, még részletesebben tanulmányozták, mint kilenc évvel azelőtti társát, a Nova Aurigae-t. Először bizonyosodott be teljes határozottsággal, hogy a színkép a csillagról leváló, nagy sebességgel távolódó gázrétegeket mutat. A jelenség megfejtésétől, sőt akárcsak a megfigyelések pontos, egyértelmű értelmezésétől is még messze voltak, de az nyilvánvalóvá vált, hogy a nóvakitörés a csillag szerkezetével összefüggő, strukturális természetű. Igaz ugyan, hogy még 20 évvel később is azt írta *J. J. See* az őt jellemző kissé kategórikus — indokolatlanul kategórikus — modorban: „A nóva jelenség oka tehát a nagy üstökösökkel való összeütközés és ezt az eredetet oly jól alátámasztja nóvák megfigyelt és elméleti eloszlása, hogy az gyakorlatilag megcáfolhatatlan". Alig szükséges rá szót vesztegetni, hogy ez a „gyakorlatilag megcáfolhatatlan" állítás már akkor is mennyire túlhaladott spekuláció volt.

A Nova Persei színképe néhány hónappal a felvillanás után átalakult ködszínképpé, amint az a nóváktól „várható" is volt. Közben halvány kiterjedő ködfolt alakult ki a nóva körül, mintegy igazolva a színképi adatokat. Csakhamar azonban egy meglepő komplikáció lépett fel. A nóva távolságából és a kiterjedés szögsebességéből meg lehetett állapítani a gáztömeg kiterjedésének lineáris sebességét (tehát sebességét km/sec-ban) és ez váratlanul nagy, a fény-

sebesség közelében levő értéknek adódott. Ezt a sebességet nem lehetett elfogadni, és nem sokkal később meg is volt a magyarázat: a látszó köd nem a nóva körül ténylegesen kiterjedő gáztömegeket jelent, hanem csupán a fölvillanás okozta erős *megvilágítás terjedését* egy, a nóva körül amúgy is meglevő sötét ködben. 1916-ban észrevettek egy második fényudvart a nóva körül, lényegesen lassabb kiterjedésben, ez volt a valóban kidobott gáztömeg, a kitörés maradványa. Maga a csillag nem tűnt el, csak fokozatosan elhalványodott.

A többi nóva

A Nova Perseivel aránytalanul sokat foglalkoztunk. Századunk azonban valósággal a nóvák évszázada és ez a körülmény különleges jelentőséget ad e csillagoknak. Míg az 1604-es, *Kepler*-féle nóva után a Nova Persei felvillanásáig — kereken három évszázad alatt — mindössze öt nóvát figyeltek meg, és ezek közül is csak egy, a Nova Carinae 1846 érte el maximumkor az elsőrendű csillagok fényességét, addig a XX. században már eddig is *kilenc fényes nóvát* figyeltek meg; ezek közül kettő elérte, kettő meghaladta az elsőrendű csillagok fényességét. A legfényesebbek: Nova Geminorum 1912, Nova Aquilae 1919, Nova Cygni 1920, Nova Pictoris 1925, Nova Herculis 1934, Nova Lacertae 1936, végül Nova Puppis 1942 mind rendkívül alapos tanulmányok tárgyát tették. Ezeknek a vizsgálatoknak eredményeképpen a jelenség leírása, természetrajza ma már meglehetősen jól ismeretes, de a jelenség oka, összefüggése a csillag szerkezetével, még mindig nagyon homályos. Pedig már 1925-ben, a Nova Pictoris feltűnésekor *Hartmann* német csillagász igen bizakodó hangú táviratot küldött Buenos Aires-ből az *Astronomische Nachrichten* szerkesztőségéhez: „Nova-probléma megoldva, csillag felfúvódik és szétrobban." A „felfúvódás" kétségtelenül megvan, legalábbis a csillag külső rétegeiben, szétrobbanásról azonban a mai ismereteink szerint nem beszélhetünk, a kitörés alkalmával a csillag tömegének és energiájának legfeljebb néhány százalékát, de inkább csak néhány ezredrészét veszíti el. Sőt, *Kukarkin* és *Parenago* vizsgálatai, amelyeket 1934-ben tettek közzé, megmutatták, hogy a nóvaszerű változók és a kis amplitudójú nóvák időnkénti kitörései szabályosan visszatérő jelenségek a csillag esetében, ami talán arra utal, hogy hasonló lehet a helyzet a tipikus, „igazi" nóvák esetében is. Ezeknél ugyan a visszatérés periódusa néhány ezer év nagyságrendű lenne; az összefüggés végleges igazolásával tehát várnunk kell, minthogy a trogloditák korából csillagászati feljegyzések nem nagyon maradtak fenn. Egy feltűnően sikeres előrejelzés azonban alátámasztja ennek a *Kukarkin—Parenago*-féle relációnak érvényességét. Az 1866-os Nova Coronae Borealis aránylag kis amplitudójú, nem tipikus nóva volt, fényessége „mindössze" kilenc magnitudót növekedett, tehát 4000-szeres fényességre nőtt a kitörés alkalmával. Ennek alapján *Kukarkin* és *Parenago* arra következtetett, hogy 60—100 év múltán újabb kitörés várható. Valóban, 1946-ban a Nova Coronae mégegyszer felvillant. Felfedezője *Kamencsuk* volt, egy szovjet amatőrcsillagász; mint elmondotta, annyira bízott az összefüggés érvényességében, hogy már évek óta rendszeresen figyelte a nóvát.

Végeredményben tehát a nóva-probléma, ellentétben *Hartmann* táviratával, ma sincs megoldva. Pedig egyik-másik nóváról szinte egy kis könyvtárra való anyag gyűlt össze. Az 1934-es Nova Herculis szokatlanul hosszú ideig maradt fényes és amint a csillagászat történetének egyik monográfusa *(Waterfield)* megjegyzi: bizonyos körökben már-már arról suttogtak, hogy a nóva visszaél a vendégszerető fogadtatással és terhére kezd válni „vendéglátóinak". (Ugyanez a csillag két évvel ezelőtt mégegyszer nagy meglepetést okozott, amikor felfedezték róla, hogy igen rövid periódusú, szoros fedési kettőscsillag.)

Fokozta az értelmezés nehézségeit az, hogy a harmincas években a nóváknak egy másik osztályát is felfedezték, az úgynevezett szupernóvákat. Ezeknek

fényessége maximumkor egy egész csillagrendszer, sok milliárd csillag együttes fényességével vetekszik, és csak az óriási távolság, valamint a jelenség viszonylagos ritkasága tette, hogy régebben nem figyeltek fel rájuk.

Azonban a szupernóvák kérdése időben messze előrevezetne, egészen napjainkig, ezért inkább később térünk vissza a jelenségre.

Egy emberöltő a napfizikában

A század első éveiben új, nagy műszerekkel, és ami még fontosabb, új fizikai törvényekkel felfegyverezve fogtak neki az asztrofizikusok, hogy a csillagok fizikai természetét felderítsék. Főképpen két területen folyt igen intenzív kutatómunka. Egyrészt a legközelebbi csillagnak, *a Napnak minél részletesebb megismerése* területén; másrészt a csillagok sokféleségének felderítése és *a csillagok jellemző adatainak*, mondhatnánk a csillagok káderanyagának összeállítása terén.

A századforduló a napfizikában valósággal forradalmat csinált, a másodikat a napkutatás történetében. Néhány évtizeddel előbb, a múlt század hatvanas-hetvenes éveiben is egymást követték a nagy felfedezések, egy-egy gondosan megfigyelt teljes napfogyatkozás eredményeként. Néhány évtizedes szünet után a század elején újra nagy fejlődésnek indult a megfigyelő napfizika. A „megfigyelő" szón hangsúly van, mert sajnos, a nóvákhoz hasonlóan, ezen a területen is a jelenségek gondos leírása mögött az értelmezés elég messze elmaradt. Mindazonáltal a szerzett új adatok is nagyon becsesek; megszerzésükön a kiemelkedő kutatók egész sora dolgozott: *Deslandres* Párizsban, *Stratton* Cambridgeben, *Ganszkij* Pulkovóban, *Evershed* Indiában és tegyük hozzá *Fényi Gyula* Kalocsán — mindenekelőtt azonban *George O. E. Hale*, a Yerkes-obszervatóriumban és később Kaliforniában, a Mt. Wilson-csillagvizsgálón.

Hale neve elválaszthatatlan a század elejének szinte minden napfizikai eredményétől. A műszerek terén: ő tervezte meg a spektrohéliográfot és a spektrohélioszkópot, ő helyezte üzembe az első nagy toronyteleszkópokat. E konstrukciók mindegyike teljesen új utat nyitott a napfizikai problémák megközelítése számára. Amint egyik munkatársa megjegyezte, a tudomány eredményeihez „... *Hale* legfőbb hozzájárulása az a meggyőződése volt, hogy ... a műszereket kell a problémához alkalmazni és nem a problémát a műszerhez".[1] Az újonnan konstruált műszerek egy sereg nagy felfedezést adtak: *Hale* és munkatársai fedezték fel a napfoltok mágneses terét, a 22 éves mágneses napciklust, a kromoszféra szerkezetét, a napkitörések (erupciók, flare-ek) fontosságát, ők vizsgálták először részletesen a napfoltok színképét. Munkásságának bizonyos értelemben folytatója volt a harmincas-negyvenes években egy másik nagy műszerkonstruktőr, *Bernard Lyot*. Ő szerkesztette meg sok évtized hiábavaló próbálkozása után a koronográfot, azt a műszert, amellyel a napkorona belső részei megfelelő légköri viszonyok mellett szinte mindig megfigyelhetők.

A Nap megfigyelésénél különösen fontos, hogy a fotoszféra, kromoszféra, korona gyors lefolyású, bonyolult jelenségeit állandóan megfigyeljék. Ma már kiterjedt napszolgálat működik a Nemzetközi Csillagászai Unió szervezetének keretében, számos obszervatórium közreműködésével és elmondhatjuk, hogy a külső korona kivételével a Nap minden jelensége — foltok, fáklyák, protuberanciák, kitörések, a belső korona — kielégítő folyamatos megfigyelés alatt állnak.

Ennek a napszolgálatnak megszervezésében szintén kimagasló szerepet játszott *Hale*. Nagy szerepe volt a kettő és félméteres Mt. Wilson-hegyi tükörteleszkóp felállítása terén és még nagyobb az ötméteres, Palomár-hegyi távcső létesülésében is. Ez a műszer az ő nevét viseli.

[1] Ez a szép elv, sajnos nem mindig alkalmazható: kicsi és szegény országokban bizony sokszor kell az adott helyzethez alkalmazkodni és a meglevő műszerekhez szabni a programot...

A csillagok természetrajza

Míg a napfizikusok a Nap természetrajzának kidolgozásában működtek, apránként kialakult a csillagok fizikája is. Pontosabban szólva, választ kaptunk az ilyenfajta kérdésekre: milyen egy csillag? mekkora egy csillag? milyen hőmérsékletű egy csillag? — de nem volt még válasz az ilyen még alapvetőbb kérdésekre: mitől fénylenek a csillagok; meddig fénylenek a csillagok? miért vannak egyáltalán csillagok? Ez az utóbbi kérdés — melyre még ma sincs válasz! — nem valami naiv kíváncsiskodás, az egész modern csillagkozmogónia e problémát vitatja.

A csillagok legfontosabb adatainak összegyűjtését a fizika törvényei, elsősorban a század elején felfedezet *sugárzási törvények* tették lehetővé. Ezeknek a törvényeknek alkalmazásával tisztázódott az, hogy körülbelül mekkora, milyen nagyságrendű a csillagok felszínének hőmérséklete. A pontosabb hőmérséklet-értékek megállapítása már nehezebb volt; sőt magának a csillaghőmérséklet fogalmának tisztázása sem volt egyszerű feladat és csak az atomfizika gyors fejlődése tette lehetővé az ún. ionizációs hőmérséklet bevezetése révén. Az, hogy különböző sugárzási törvények nem egészen egyező csillaghőmérsékleteket adnak, annak következménye, hogy a csillagok csak megközelítik, de nem realizálják teljesen az úgynevezett „fekete testet", amelyre a sugárzási törvények vonatkoznak. Mégis a csillagok hőmérsékletértékei lényegében tisztázódtak; e tekintetben különösen kiemelkedő munkát végeztek a potsdami asztrofizikusok: *Scheiner* és *Wilsing*, később pedig *Brill;* megemlíthetjük ezzel kapcsolatban egy magyar kutató nevét is, *Harkányi Béláét*.

A hőmérsékleti értékekkel a csillag tényleges (tehát nem csak az égbolton látszó fényességét) abszolút fényességét kombinálva, megkapjuk a csillag átmérőjét. Ez az érték nem lesz teljesen pontos, tekintettel a hőmérséklet némi bizonytalanságára, de jó nagyságrendi tájékoztatást ad. Ahhoz azonban, hogy megtudjuk állapítani egy csillag abszolút fényességét, jól kell ismernünk távolságát. Ezért volt igen nagy jelentőségű a távolságmérésnek fényképlemezek segítségével történő preciziós módszere. Ezt az eljárást elsősorban *Frank Schlesinger*, a Yale-obszervatórium igazgatója „propagálta". Ilyen módon vált lehetővé, vagy 10—12 csillagvizsgáló nagy refraktorainak összehangolt működésével, hogy míg a század elején alig néhány csillag pontos távolságát ismerték, 1935-ig már több mint 7500 csillag megbízható távolságát állapították meg. Az eljárás lényege ismert: a Föld napkörüli keringése miatt a közeli csillagok látszólagos elmozdulást mutatnak, egy évi periódussal („parallaxist" mutatnak) és ennek a látszólagos elmozdulásnak nagysága fordítottan arányos a csillag keresett távolságával.

Ily módon csak mintegy 300 fényév távolságig tudunk mérni, ezt az aránylag szűk határt azonban 1000—1500 fényévig ki lehet tolni, spektroszkópikus megfigyelések segítségével.

Az ilyen „színképi" parallaxisok, színképi távolságmeghatározások módszerét *Adams* és *Kohlschütter* dolgozta ki (1914 körül). A módszer alapjául „végső soron" egy rendkívül fontos, szinte korszakalkotó felfedezés szolgál. Ez az óriás- és törpe csillagok osztályának felfedezése, az úgynevezett Russell-diagram felfedezése.

Óriások és törpék létezésének felismerése a holland *Hertzsprung*tól származik. Ő fedezte föl, hogy a sárga és vörös színű — a múlt század végén kidolgozott Harward-színképosztályozás szerint G, K, M színképtípusú — csillagok között vannak lasson mozgók és gyorsan mozgók; a két csoport viszonylag éles elkülönülése nyilvánvalóan mutatkozott a sajátmozgásokban. Ennek alapján átlagos távolságot állapított meg mind a gyors, mind a lassú csillagokra és ebből adódott az, hogy a sárga és vörös színű csillagok két osztályra különülnek. Az egyiknek — későbbi elnevezés szerint: az óriásoknak — csoportjában a fényes-

ség százszor, ezerszer nagyobb, mint a másik csoport csillagainak, a törpéknek fényessége. Később mutatták ki, hogy az óriások és törpék nemcsak fényességben, hanem méretben, átmérőben is igen erősen különböznek.

7. ábra. H. N. Russell

8. ábra. Harlow Shapley

Hertzsprung felismerése az egyik legfontosabb hozzájárulás volt a csillagok fizikai természetének megismeréséhez. Minthogy azonban egy aránylag kevéssé ismert folyóirat, a *Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie* lapjain tette közzé (1905-ben és 1907-ben), eredménye nem vált eléggé ismertté. Néhány év múlva *Russell,* tőle függetlenül, mégegyszer felfedezte a késői színképtípusú csillagoknak ezt a két csoportra válását és a felismerést a róla elnevezett rendkívül áttekinthető és hasznos diagram formájában ábrázolta.

Később felfedeztek még egy nevezetes csillagcsoportot; ez a Russell-diagram „bal alsó sarkában" helyezkedik el, a fehér törpék csoportja. Az első ismert fehér törpecsillag a Sirius halványfényű kísérője volt. Tömegét a kettőscsillag mozgásából meg lehetett állapítani: mintegy 0,98 naptömegnek adódott. A nagy meglepetés akkor következett, amikor a Mt. Wilson nagykapacitású műszereivel sikerült megállapítani a halvány csillag színképét is. A csillag A-színképtípusúnak mutatkozott, és ebből aránylag magas hőmérsékletre és rendkívül kicsiny, a Földnél *alig néhányszor nagyobb* átmérőre lehetett következtetni. Így kapták a Sirius kísérőjére azt a rendkívül nagy sűrűségértéket, amelyik eleinte teljesen valószínűtlennek tűnt fel a legtöbb csillagász előtt. Milyen anyagból is lehet egy ilyen csillag? Az atomfizika eredményei alapján *Fowler* mutatta meg néhány évvel később, hogy ezek a csillagok éppolyan elemek atomjaiból állanak, mint a többi csillag, de az atomok e csillagok belsejében a nagy nyomás miatt igen speciális fizikai feltételek között vannak.

A felfedezett fehér törpék száma eleinte igen lassan nőtt. *Ambarcumjan* és *Sajn* azonban már 1936-ban kimondotta, egészen egyszerű statisztikai meggon-

dolások alapján, hogy ezeknek a fehér törpéknek a tényleges gyakorisága elég magas, az összes csillagoknak mintegy 10 százalékát teszik ki. Az újabb felfedezések ezt a becslést teljes mértékben igazolták; ennek ellenére azonban még ma is vagy kereken százat ismerünk csak. Ez a kis szám érthető, ha meggondoljuk, hogy rendkívül csekély fényességük miatt még Naprendszerünk közvetlen közelében is igen nehéz felfedezni őket.

A Sirius-kísérővel kapcsolatban a csillagok tömegét említettük. Ez az egyetlen adat, amelyről már a múlt században is rendelkeztek a csillagászok többékevésbé megbízható ismeretekkel. A tömeget ugyanis kettőscsillagok mozgásának tanulmányozásából nyerjük. Vizuális kettőscsillagok mikrométerrel történő megfigyelése „nagyüzem-szerűen" a múlt század első felében indult meg. Mozgásukat azóta is elég nagy apparátussal követik, a mozgásukból levezetett megbízható pályák száma 4—500 körül van.

Aránylag sok csillag tömegét sikerült tehát meghatározni. Ez lehetővé tette annak a fontos törvényszerűségnek felfedezését, amelyik fennáll a csillagok tömege és fényessége között. Nagyjából azt mondhatjuk, hogy a csillagok fényessége annál nagyobb, minél nagyobb a tömegük; e szabály alól csak a fehér törpék jelentenek kivételt. A tömeg-fényesség összefüggést 1924-ben *Eddington* mondotta ki, az összefüggést aránylag hamar sikerült levezetni a csillagok belső szerkezetének elméletéből.

A vizuális kettőscsillagok megfigyelése adja tehát a csillagok tömegét. A fedési kettőscsillagok viszont azért nagy jelentőségűek, mert a csillagok átmérőjének, a hőmérsékletre tett feltevésektől független, teljesen korrekt meghatározását teszik lehetővé. Az erre szolgáló általános módszert csak 1912-ben dolgozta ki *Russell*, részben *Shapley*-vel együtt; két év múlva, doktori disszertációjában *Shapley* alkalmazta az új módszert immár 90 kettőscsillagra. A fedési kettősök pályaszámításának jellemzője, hogy igen érzékeny a mérés kis hibáira is és a fényváltozásnak különlegesen igen pontos követését tételezi fel. Ezért az asztrofizikának ez az ága gyors fejlődésnek indult, amióta a tizes évek elejétől először csak egy-két észlelő — Németországban *Guthnick*, Amerikában *Stebbins* — később egyre több áttért a fotoelektromos fotometriára, szelén-cellák, fotocellák, az utóbbi évtizedben pedig elektronsokszorozó csövek (multiplier csövek) alkalmazásával.

A színképi kettőscsillagok vizsgálata szintén igen kényes feladat az észlelés technikája szempontjából, minthogy igen nagy diszperziójú spektrográf szükséges hozzá. Az ilyen spektrográf működése viszont nagyon sok fényt kíván meg, így a csillagok radiális sebességének (tehát a távolodó, ill. közeledő mozgás sebességének) és a színképi kettősöknek mérése főképp néhány obszervatóriumra hárult, amelyek megfelelően nagy nyílású teleszkóppal rendelkeztek. Kiemelkedő munkát végzett e téren a Mt. Wilson-, a McDonald- és a Yerkes-obszervatórium, a kanadai Victoria-obszervatórium, Európában pedig a Hamburg, Berlin-Babelsberg és a Krím-félszigeten levő Szimeiz csillagvizsgálója. Mind jobban és jobban tanulmányozva a színképi kettősöket, egyre több olyan „patológikus" csillagot találtak, amelyikben a két csillagon kívül bonyolult mozgású gáz- és porfelhők vannak; ezek a spektroszkópiai pályaszámítást ugyancsak megnehezítik. A színképi vizsgálatok igen fontos eredményeihez tartozik továbbá, hogy 1930 körül, főként az amerikai *Struve* és a szovjet *Sajn* közös munkái nyomán, megkezdődött a csillagok tengelyforgásának észlelése is.

Apránként ismeretessé vált tehát a csillagok mérete, tömege, hőmérséklete, összes energia sugárzása. Ennek az „adatgyűjtő" folyamatnak méltó befejezése volt az észlelésnek az a bravúrja, amelynek során *Michelson* 1920-ban, a Mt. Wilson nagy reflektorára szerelt interferométer segítségével, közvetlenül megmérte néhány csillag átmérőjét.

Az interferométernél a fény hullámtermészetét, a fénysugarak interferenciáját használják föl, szög- vagy távolságmérésre; *Michelson* a kérdésnek talán

legkitűnőbb szakértője volt, ő szerkesztette azt a híres interferométert is, amelylyel 1881-ben először mutatta ki, hogy az éterre vonatkozó régi feltevések ellentmondást tartalmaznak. Hét csillagnak sikerült az átmérőjét megmérnie, az adatok jó összhangban vannak a hőmérsékletből számított adatokkal. Különösebb jelentősége az eljárásnak azért nincs, mert nagyon kevés csillagra alkalmazható; inkább elvi szempontból érdekes, hogy a csillagok átmérőjét *közvetlenül* meg lehetett állapítani. Gondoljuk meg ugyanis, hogy a *Michelson* által meghatározott látszó átmérők általában nem nagyobbak, mint egy ötforintos pénzdarab látszó átmérője 300 km távolságból! Ennek a kis szögnek pontos megmérése valóban az észlelési technika emlékezetes vívmánya volt.

A csillagközti anyag

A század asztrofizikájának másik nagy vívmánya, a csillagok gazdag kartoték-anyagának összeállítása mellett a csillagközti anyaggal kapcsolatos sok, régen vitatott problémának eldöntése volt. Azt a gondolatot, hogy a csillagok között is van valamilyen finoman eloszlott közeg, még 1720-ban *Halley* felvetette, 1847-ben *Struve*, a pulkovói direktor nagyon fontos értekezést publikált, amelyben már megpróbálta ezt az intersztelláris, csillagközti közeget statisztikai úton, a csillagok számlálása segítségével kimutatni. Körülbelül száz év múlva *Huggins* a színképelemzés segítségével igazolta azt, hogy bizonyos ködök nem csillagcsoportok, hanem gázfelhők, ez közvetlen evidenciát jelentett a csillagközti anyag léte tekintetében. Ugyanilyen közvetlen evidenciát mutatott *Barnard* híres atlasza és más fotografikus csillag-atlaszok, amelyeken a csillagok százezrei és milliói között világosan elkülönülő csillagtalan mezők, mintegy „üres" foltok mutatkoztak. Ezek nyilvánvalóan a csillagközti, fényelnyelő közeg erős összesűrűsödéseit jelentik.

9. ábra. E. E. Barnard

Mindezek ellenére, ha egyes, foltokban eloszlott por- és gáztömegek létét közvetlenül meg is lehetett figyelni, valamilyen *általános csillagközti közeg* létezése még mindig kérdéses volt. 1904-ben igen fontos fölismerés vitte előbbre ezt a kérdést. *Hartmann* felfedezte, hogy bizonyos magas hőmérsékletű csillagok színképében olyan vonalak mutatkoznak, amelyek nem mutatják a csillag közeledése vagy távolodása következtében fellépő Doppler-eltolódást. Különösen feltűnő ez színképi kettőscsillagok esetében. Ilyenkor a kettőscsillag színképvonalai a súlypont körüli keringés következtében periodikusan eltolódnak, hol a spektrum vörös, hol ibolya vége felé, amint a csillag a keringés során hol távolodik, hol közeledik hozzánk. Bizonyos vonalak azonban mintegy „helyükön maradnak" (nyugvó kalcium-vonalak). *Hartmann* feltételezte, hogy ezek a vonalak a csillagközti gáz atomjaitól erednek és ez a föltevés azóta teljes igazolást nyert.

Az általános *csillagközti fénygyöngítés kérdése*, tehát nagyobbmennyiségű *intersztelláris por* létezésének problémája továbbra is nyitott volt. *Kapteyn,*

majd *Shapley* statisztikai meggondolások alapján az általános csillagközti fénygyöngítés ellen nyilatkozott és csak 1930 körül igazolták, *Trümpler* szép vizsgálatai a nyílthalmazokról minden kétséget kizáróan csillagközti fénygyöngítő anyag létezését. Érdekes, hogy ez a fénygyöngítés aránylag nagy mértékű, háromezer fényévnyi úton egy magnitudó nagyságrendű (azaz 60 százalékos csökkenést jelent). Hosszú ideig mégsem vették észre, és ez nyilván azzal függ össze, hogy a régebbi csillagászat — melynek adatait *Kapteyn* összegezte — csak aránylag közeli objektumokkal foglalkozott, *Shapley* gömbhalmazai pedig, bár messze vannak, kívül esnek a Tejút zónáján, ahol a fénygyöngítés erős.

Az utolsó két-három évtizedben a csillagközti anyag kutatása egyre inkább, amint mondani szokták, az érdeklődés homlokterébe került. Fokozatosan tisztázódott, hogy milyen szerepet játszik a Tejútrendszer szerkezetének vizsgálatánál; kiderült, hogy alaposan meghamisította a régebbi elképzeléseket. Nagyon behatóan vizsgálták a csillagközti anyag fizikai tulajdonságait is.

Egyelőre nézzük meg közelebbről az úgynevezett „nebulium"-nak históriáját. Ezt a hipotétikus elemet azért vezették be, hogy megmagyarázzák teljesen ismeretlen természetű és eredetű vonalak felléptét egyes ködök színképében. Amint századunk első évtizedeiben az atomfizika nagy léptekkel haladt a színképek teljes értelmezése felé, nyilvánvalóvá vált, hogy semmiféle addig ismeretlen új elem nem lehet ezeknek a vonalaknak a forrása. Csak arra gondolhattak, hogy valamilyen jól ismert elem adja ezeket a vonalakat, de olyan fizikai viszonyok között, amelyek erősen eltérnek a laboratórium viszonyaitól.

A kérdést 1927-ben *Bowen* oldotta meg, a Wilson- és Palomár-hegyi csillagvizsgálók jelenlegi igazgatója. Ő mutatta ki, a spektroszkópia legújabb eredményeit felhasználva, hogy ezek a vonalak kétszer, háromszor ionizált oxigén, illetve nitrogén atomoktól származnak, ha ezek az atomok egymástól aránylag nagy távolságban vannak, vagyis a gázköd anyaga elég ritka. Ilyen feltételek mellett létrejöhetnek olyan színképvonalak, az úgynevezett *tiltott vonalak*, amelyeknek kibocsátásához az atomnak hosszabb nyugalomra van szüksége. A „hosszabb nyugalom" néhány másodpercet jelent. Tekintettel arra, hogy a laboratóriumban, általában földi viszonyok között, az atomok másodpercenként több milliószor ütköznek, a ködökben pedig átlag 50 naponként, nyilvánvaló, hogy a ködökben sokkal kedvezőbbek a feltételek ezeknek a „kényes" színképvonalaknak kibocsátására.

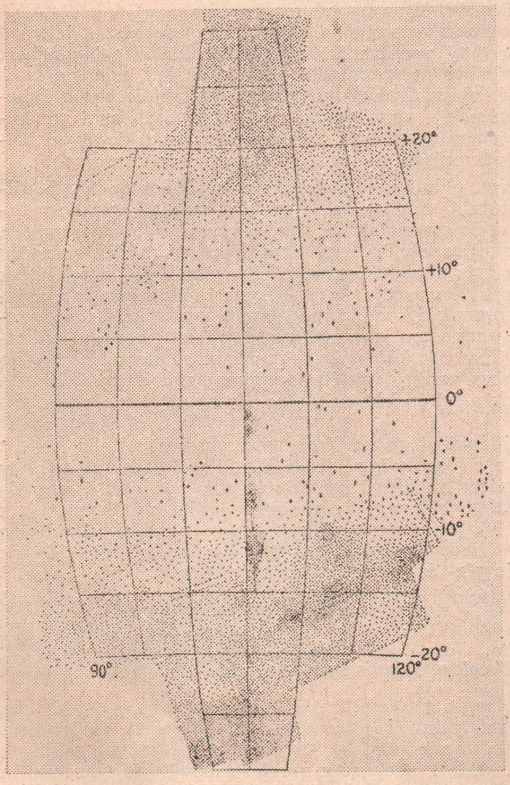
Sikerült kideríteni a csillagközti anyag hozzávetőleges összetételét is; ez olyannak mutatkozott, mint a csillagok összetétele. Megállapították azt is, hogy az intersztelláris anyagok, szinte rendkívüli ritkítottságuk ellenére, összes tömegükben mégis igen jelentékenyek, nagyságrendben a csillagok tömegét érik el; ezzel nyilvánvalóvá vált, hogy az intersztelláris anyagnak óriási jelentősége van a csillagokkal való kölcsönhatás tekintetében is. A keletkező, új csillagok nyersanyaga az intersztelláris gáz- és portömegekben keresendő.

Ezek a vizsgálatok napjainkig elvezetnek és eredményeikre e beszámoló harmadik, befejező részében térünk rá.

Vizsgálatok a Galaxis szerkezetéről

Az intersztelláris anyag, mint már említettük, ugyancsak beleszólt azokba a statisztikai vizsgálatokba, amelyek a Tejútrendszer szerkezetének földerítését tűzték ki célul. Régebben ezeket a vizsgálatokat úgyszólván kizárólag a csillagok számlálása alapján végezték. Bár később ez a munka kibővült és nem csak a csillagok számlálását, hanem a rájuk vonatkozó fontosabb adatok minél teljesebb összeállítását is magában foglalta. Ma ez a módszer kissé elavultnak tűnik, abban az értelemben, hogy a rengetęg adat összegyűjtése ellenére is végeredményben kevesebbet nyújtott, mint remélték. A csillagok eloszlását csak a Naprendszer közvetlen környezetében lehetett vele kinyomozni, ami pedig éppen

a rendszer általános körvonalai, globális szerkezete szempontjából kevéssé jelentős. Amint nagyobb távolságra próbáltak előre haladni, a csillagközti anyag zavaró hatása, a vizsgált objektumok halvány volta, a mérések hibái, stb. oly mértékben hamisította meg a statisztikákat, hogy végeredményben teljesen helytelen képet kaptunk a Tejútrendszerről. Egyrészt a méretei nem adódtak helyesen (túl kicsinek adódtak), másrészt az a nagyon rossz eredmény adódott, hogy a Nap a Tejútrendszer középpontjában van és hozzá képest a csillagok eloszlása nagyjában szimmetrikus. Sokkal eredményesebb volt a különböző *speciális objektumok* vizsgálata. Így egyrészt el lehetett kerülni azt, hogy a vizsgálat az adatok tengerébe belefulladjon, másrészt ezek a speciális objektumok, ha elég fényesek, messziről látszanak, jól kiválnak a többi csillag közül és mint „irányfények", jelzik a rendszer körvonalait. Ilyen speciális objektumok például a csillaghalmazok, különösen a gömbhalmazok, a nagy fényességű (szuperóriás) csillagok, bizonyos jellegzetes változó csillagok, elsősorban a Delta Cephei- típusúak, a planetárikus ködök, az újabban fölismert csillagtársulások. Ma a Tejútrendszer szerkezetének kutatása elsősorban ezeknek alapján történik; így sikerült — nagyjából azt mondhatjuk, hogy a tizes évek végén, a huszas évek elején — tisztázni a Nap helyzetét a Tejútrendszerben, a Galaxis hozzávetőleges méreteit és a rendszer mozgásviszonyait.. .



10. ábra. A galaktikai abszorpció a Galaxis egy részében

A csillagszámlálások a század elején tehát a Tejútrendszernek a valóságtól teljesen különböző képét mutatták (ez volt az ún. *Kapteyn*-féle szkéma). Ma már tudjuk, hogy két alapvető forrása volt ennek a hibás elképzelésnek. Először is a feldolgozásnál olyan módszert használtak, amely hallgatólagos premisszaként tartalmazza azt a feltevést, hogy a Nap körül a csillagok eloszlása nagyjában szimmetrikus. Ezzel a hallgatólagos, rejtett feltevéssel először *Pannekoek* szakított, akinek egyébként a csillagászaton kívül eső tevékenységéről, *Kautsky*-val való politikai polémiájáról *Lenin* azt írja

az „Állam és forradalom” egy helyén, hogy hibái ellenére „végül is a marxizmus álláspontját képviseli” az opportunizmussal szemben.

Másrészt, mint már említettük, nem vették tekintetbe a csillagközti fénygyengítést. Pedig ez a fénygyengítés létezik és a távoli csillagokat jelentékenyen halványabbnak mutatja. Ha tehát valaki nem tud a fénygyengítés létezéséről, vagy azt elhanyagolhatóan kicsinek veszi, a tőlünk messzebb levő csillagok távolságát jócskán túlbecsüli. A valóságban ugyanis ezek a csillagok *nemcsak azért látszanak halványnak*, mert távol vannak; halvány voltuk legalábbis részében, nem a távolságnak, hanem az intersztelláris fénygyöngítésnek számlájára írandó. Az intersztelláris fénygyöngítés felismerésével tehát a távolabbi objektumok mintegy „közelebb jöttek”.

Az intersztelláris abszorpció tekintetbevétele a Tejútrendszer méreteit is megnövekedve, a helyes arányokban mutatta meg. Az imént említettük, hogy az abszorpció tekintetbevételével a csillagok „közelebb jöttek”. Bizonyára nagyon paradoxnak tűnik, hogy ennek az abszorpciónak tekintetbevételével maga a Tejútrendszer mégis nagyobbnak adódott, mint azelőtt. Az érdekes paradoxon megoldása a következő. Azzal, hogy a csillagok távolságát helyes értékére leszállították, tehát „közelebb hozták” őket, ezzel a csillagok térbeli sűrűségét megnövelték. A régebbi szkéma túl nagy távolság adatokkal számolt és így azt mutatta, hogy a csillagsűrűség a Naptól nem is nagy távolságra már rohamosan csökken. Ebből adódott aztán a Tejútrendszernek egy a ténylegesnél sokkal kisebb átmérője. A valóságban azonban a csillagsűrűség nem csökken ilyen rohamosan, sőt a Sagittarius csillagkép irányában, a Galaxis centruma felé, átmeneti csökkenés után erősen növekedik. Így mutatták aztán a javított vizsgálatok a Tejútrendszer helyes arányban „megnövekedett” átmérőjét.

A fentebb mondottak ellenére a csillagszámlálások során a katalógusokban összegyűlt adatok tömegének igen nagy jelentősége van, különösen akkor, ha nem a Tejútrendszer főbb vonásai, körvonalai, hanem közelebbi részletek után érdeklődünk. A csillagok roppant száma természetesen eleve kizárja azt, hogy teljességre törekedjünk. Éppen ezért különösen jelentős a sztellárstatisztikában az a kooperatív program, melynek kidolgozása és megindítása a holland *Kapteyn* elévülhetetlen érdeme.

A *Kapteyn*-féle program az úgynevezett „kiválasztott területek” programja (Programm of Selected Areas). Amint a neve is mutatja, arról van szó, hogy az egész égbolt csillagainak végeérhetetlen kartotékolása, katalogizálása helyett bizonyos reprezentatív területeket választottak ki és ezeket a kisebb területeket, csillagmezőket dolgozzák föl a lehető legnagyobb részletességgel. *Kapteyn* 206 ilyen mezőt választott ki, mindegyik egy négyzetfok területű és nagyjából egyenletesen oszlanak el a teljes éggömbön; ezután rendkívül kiterjedt nemzetközi kooperációt szerveztek meg, amelyik adatok millióit gyűjtötte össze ezekről a reprezentatív csillagmezőkről. Természetesen, még egy igen nagy obszervatórium sem vállalhatja, hogy a munka *valamennyi* észlelés-típusánál közreműködik. A munkamegosztás szemléltetésére felemlítünk néhány adatmegállapodást. A csillagok *fotografikus fényességét* a Mt. Wilson, a hollandiai Groningen városka, valamint a Harward-obszervatórium csillagvizsgálója végzi, a Harward főképp a déli féltekén. A *színképek osztályozása* postdami és a hamburgi csillagvizsgáló munkája; a *sajátmozgásokat* elsősorban az oxfordi Radcliffe-obszervatórium szolgáltatja. A *csillagok radiális sebességét* a Mt. Wilson- és a kanadai David Dunlap-obszervatórium méri, míg a *halvány csillagok színét* a Mt. Wilson, a Harward és a kaukázusi Abasztumáni csillagvizsgálója.

Ezek a programok nagy személyzetet foglalkoztatnak és rengeteg „nem kvalifikált” munkát jelentenek; *Kapteyn* maga a groningeni laboratóriumban például a lemezek kimérésének teljesen mechanikus, rutin munkájára nagy számban alkalmazott — fegyenceket. Számukra természetesen nagy kedvezmény volt az aránylag kényelmes munka és szívesen és jól csinálták, ugyanakkor maguk a csillagászok értékesebb munkára szabadultak fel.

A Galaxis forgása

Beszéljünk most arról a másik fontos vizsgálatról, amelyik a Galaxis szerkezetének felkutatásával párhuzamosan mozgásviszonyainak kiderítését célozta.

A közeli csillagok mozgásviszonyai tűrhetően ismeretesek voltak már a század elején. Sikerült megállapítani a Naprendszer mozgását a szomszédos csillagokhoz képest és ezen az adaton az utóbbi évtizedek keveset módosítottak. Ezt a munkát másfélszáz éve még *Herschel* elkezdte, sőt az első fontos eredményt — a Nap mozgásirányának megállapítását — el is érte.

Mindennél azonban sokkal bonyolultabb kérdés volt az egész rendszer mozgásának földerítése. A közeli csillagok mozgása nagyjában véletlenszerű volt, de igen kevéssé látszott valószínűnek, hogy a Tejútrendszer egészére is érvényes legyen ez a megállapítás. Nyilvánvaló volt, hogy a Tejútrendszernek vannak bizonyos általános mozgási sajátosságai; a rendszer forgásának gondolatát is már közel száz éve felvetette *Kovalszkij:* Az általános mozgásviszonyok *konkrét* megállapítása felé vitt a század első éveiben a „csillagáramok" létezésének feltételezése. *Kapteyn* állapította meg, hogy az összes csillagok mintegy két ellentétesen mozgó csoport valamelyikébe oszthatók be. Ezt a fölismerést, pontosabban az ennek alapjául szolgáló megfigyeléseket nem sokkal később *Schwarzschild* matematikailag megalapozott, pontosabb és általánosabb formába öntötte. A fizikai értelmezés azonban még hiányzott, csak a huszas évek végén, *Oort* és függetlenül *Lindblad* vezette vissza a csillagok mozgásának főbb törvényszerűségeit egy rendkívül fontos, valóban alapvető jelenségre, a Tejútrendszer forgására. A kérdést később *Bottlinger, Ogorodnyikov* és *Milne* vizsgálták részletesebben.

11. ábra. H. Oor

Oort és *Lindblad* módszere lényegében véve abban különbözött, hogy *Oort* az összes csillagot egy rendszernek, egyfajta csillagpopulációnak tekintette, *Lindblad* pedig megpróbálta a Tejútrendszer csillagait különböző alrendszerekbe csoportosítani. A későbbiek azt mutatták, hogy a *Lindblad* által javasolt módszer közelebb áll a fizikai valósághoz; annak idején azonban az egyszerűsített *Oort*-féle modell hasznosabb volt. Ennek a modellnek alapján *Oort* levezetett két egyszerű, de fontos egyenletet. Ezek azt fejezték ki, hogy amennyiben a Tejútrendszer forgásának feltevése igaz, akkor a távoli csillagok mozgásában bizonyos szabályszerűségeknek kell mutatkozniok, melyeket sikerült is, elsősorban a nagy amerikai obszervatóriumok óriásműszereinek segítségével igazolni.

Eldőlt tehát az a kérdés, hogy milyen legáltalánosabb törvényszerűség jellemzi a Galaxis mozgásviszonyait. Ez a legáltalánosabb jelenség a Tejútrendszer forgása, ebben részt vesz minden csillag és csillagközti anyag. A Nap, centrumtól való távolságának megfelelően, körülbelül 200 millió év alatt végez el egy keringést; egyébként érdemes megjegyezni, hogy a Napnak centrumtól való távolságára a legmegbízhatóbb értékét szintén az *Oort*-féle egyenletek szolgál-

tatják. A keringésen kívül még minden egyes csillagnak van — a keringési sebességnél jóval kisebb — sebessége közvetlen környezetéhez képest, ez a mozgás lényegében véve véletlenszerű eloszlást mutat, amint azt már a múlt században tudták.

A Tejútrendszer forgásának felismerése természetesen a csillagászat számos területén alkalmazható. Talán nem érdektelen megemlíteni egy különösen érdekes alkalmazást. Az *Oort*-féle egyenletek a csillagok sajátmozgásán keresztül kapcsolatban vannak az égi koordináta-rendszerekkel. Az égi koordináta-rendszerek viszont a Föld mozgásával függenek össze és ennek kapcsán sikerült *Oort*-nak levezetni a földtengely precessziójának javított értékét a távoli csillagok mozgásának vizsgálatából — az első pillantásra valóban szinte hihetetlen eredmény.

A Tejútrendszer rotációja tehát a huszas évek végén bizonyítást nyert. Ettől az általános felismeréstől azonban a mozgásviszonyok részletesebb kikutatásáig még hosszú az út, és ennek az útnak még ma is csak az elején jár a csillagászati kutatás. Ma éppen azok az objektumok érdekesek, például a gömbhalmazok vagy a RR Lyrae-típusú változó csillagok, amelyek mozgásuk során „rendellenes" pályákat írnak le, mert ezek a pályák esetleg kapcsolatba hozhatók a csillagok keletkezésének és fejlődésének kérdéseivel.

A kutatás „súlypontjai". Az óriástávcsövek üzembehelyezése

Mielőtt tovább folytatnánk a kutatás eredményének ismertetését, egy kitérőt kell tennünk, meg kell röviden emlékeznünk a műszerpark fejlődéséről és bizonyos „szervezeti kérdésekről". Az első világháború idején Európaszerte a kutatómunka intenzitása nagy mértékben lecsökkent, azonban szerencsére nagyobb obszervatórium nem esett áldozatul a háborúnak. A legsúlyosabb veszteség egy fontos optikai üzemnek, a franciaországi St. Gobain nagy gyárának pusztulása volt. Ez az üzem abban az időben szinte egyedül volt berendezkedve nagyméretű üvegtömbök preciziós elkészítésére. St. Gobain kapta a megbízatást, még az amerikai üzemeket is mellőzve, a Wilson-hegyi 2,5 méteres nagy reflektor tükrének öntésére. Szerencsére az üvegkorong elkészült még a világháború kitörése előtt, bár nem volt egészen kifogástalan minőségű, sőt először nem is akarták elfogadni. Csak a St. Gobain-i üzem pusztulása után törődtek bele, hogy mégis ezt az üvegkorongot fogják felhasználni, és sikerült is a csiszolásnál a nagynevű *Ritchey*-nek elérni azt, hogy végül szinte hibamentes optika létesült.

A nagy tükörteleszkóp üzembehelyezése 1917-ben jól illusztrálja a változott helyzetet: míg ugyanis Európában a háború és utána az inflációk, a nagy szegénység erősen gátolta a kutatómunkát, a tizes-huszas években, mind az Egyesült Államokban, mind Kanadában egymás után helyezték üzembe a nagy reflektorokat.

A 2,5 méteres ún. Hooker-teleszkóp üzembe helyezése volt a csúcspont. 1917. november 1-én próbálták ki. Az egyik jelenlevő, *Adams*, nemrég leírta a nagy eseményt. A távcsőtükör cellás szerkezetű volt, az első ilyenfajta a nagyobb optikák közül és ezért is, meg az átvétel huzavonája miatt is, sokan nem bíztak a műszeróriás leképezésében. Nagy volt tehát a várakozás, amikor először néztek a távcsövön át. A Jupiter volt beállítva. A nagy érdeklődést még nagyobb csalódás követte. „Elsápadtunk a látványtól" — írja *Adams*, a látómezőben legalább hat-hét Jupiter részben egybeolvadó képe látszott! Órákon át a helyzet nem javult. Hajnalban *Hale* és *Adams* ismét a kupolában voltak, nyilván egyikük sem tudott aludni azon az éjszakán. A Jupiter ekkor már nyugvófélben volt, helyette a Végára irányították a távcsövet. „Az első pillantásra *Hale* rosszkedve eloszlott", ezúttal a sok kép helyett már csak egyet láttak, mégpedig láthatólag egészen kifogástalant. Később derült ki, hogy az előző napon nem zárták be a kupolarést, és a tűző Nap némileg deformálta a tükröt, bár közvetlen

napfény természetesen nem jutott rá. Az éjszaka folyamán a tükör kihűlt és normális, jó képet mutatott.

Nagyjából egyidőben helyezték üzembe Kanadában a Victoria obszervatórium 184 cm-es reflektorát, ezt követte a harmincas években, ugyancsak Kanadában a David Dunlap-csillagvizsgáló 188 cm-es műszere; a Harward obszervatórium két 152 cm-es tükör-teleszkópot állított fel, az egyiket a déli féltekén; 1939-ben pedig a McDonald csillagvizsgálóban (ez időközben egyesült a Yerkes-obszervatóriummal) 208 cm-es reflektort helyeztek üzembe. Akkor a McDonald-távcső a második legnagyobb volt, ma már csak a negyedik és minden kilátása megvan, hogy ezt a helyét is hamarosan elveszíti. Európában ez idő tájt a Berlin-Babelsberg-i obszervatórium 122 cm-es reflektora volt a legnagyobb műszer.

A nagy műszerek ilyen koncentrálódása aránylag szűk területen természetesen azt eredményezte, hogy az észlelésnek bizonyos területein, elsősorban a spektroszkópiában feltétlenül a nagy amerikai obszervatóriumok vették át a vezető szerepet. Hozzájárult ehhez az a körülmény is, hogy Európa legtöbb helyén ilyen nagy műszert fölállítani tulajdonképpen nem is érdemes, mert az aránylag kedvezőtlen klimatikus viszonyok — nedves, csapadékos időjárás, sok felhő — akadályozzák a műszer kihasználását. Európa kezében maradt a vezetőszerep — elsősorban az orosz, ill. szovjet, valamint a német csillagvizsgálók munkája révén — a poziciós csillagászat területén; az elméleti kutatás terén a vezetőszerepet a csillagászati szempontból rendkívül rossz időjárással sújtott angol kutatók vették át.

A világháború utáni években hamar kezdett kibontakozni a szovjet csillagászat is. A pulkovói Központi Csillagvizsgáló 1921-ből kelt jelentésében *Ivanov* megállapítja, hogy a háború és a polgárháború éveiben a szovjet csillagászok a régi programokat a körülményekhez mérten tovább vitték. De súlyos nehézségekről is beszél ez a jelentés, említi a jó minőségű fényképlemezek hiányát, a külföldi irodalom késedelmes érkezését, a kapcsolat meglazulását a külföld kutatóival. Ugyanakkor azonban már említi, hogy nagy számolóintézetet hoztak létre Péterváron, amelyik a pulkovói csillagvizsgáló kutatóit messzemenően tehermentesíti a számítások terhes részétől. Új, elsősorban gyakorlati jellegű programok megindításáról is beszél a jelentés, Pétervár és Moszkva hosszúságkülönbségének rádió útján való meghatározásáról, időjelek rádión való rendszeres leadásáról. A szovjet csillagászok technikai fejlődése tehát már ezekben a nehéz években is megindult. Még a huszas évek derekán üzembe helyeztek egy nagy reflektort, 102 cm-es nyílással, a Krím-félsziget déli partján, Szimeizben. Ez a műszer akkor Európa egyik legnagyobb reflektora volt és rendkívül hasznos munkát végzett a csillagok radiális sebességének meghatározása, valamint színképi kettősök pályaszámítása terén. Jelentősen fejlesztették a moszkvai csillagvizsgálót. Nagy, modern obszervatóriumot építettek ki a Kanobili-hegyen, Abasztumáni mellett, a Kaukázusban, 1700 méter magasságban. Megszervezték a szovjet napszolgálatot, amelynek központja Taskent lett, erősen kiépítették Pulkovóban is a napkutatást stb. A jelentős beruházások eredményeképpen a Szovjetunió észlelő csillagászata megtartotta az előkelő helyet, amelyet a múlt században az oroszországi csillagászati kutatás kivívott. Ugyanakkor nagy súlyt kaptak az elméleti munkák is; *Sajn, Ambarcumján, Feszenkov* és mások a világ legjobb teoretikusainak sorába emelkedtek.

Az imént beszéltünk az első világháború aránylag szerencsés kimeneteléről, ami az obszervatóriumok anyagi állagát illeti. A személyi veszteségek között azonban meg kell emlékeznünk egy rendkívül súlyosról. 1916-ban, 43 éves korában a porosz szoldateszka áldozatául esett, a fronton szerzett betegségébe belehalt *Karl Schwarzschild*, a modern német csillagászat büszkesége. Halálának az idén van 40. évfordulója, megemlékezésül szenteljünk neki méltó helyet ebben az összefoglalásban is.

Karl Schwarzschild

*Schwarzschild*et nem túlzás a század legnagyobb csillagászának mondani. Valódi géniusz volt, talán az egyetlen, aki összemérhető korunkban a múlt idők óriásaival, *Kepler*rel, *Halley*vel, *Herschel*lel. és aki egy sorban áll a tudomány történetének lapjain nagy fizikus kortársaival, a modern fizika megteremtőivel. Munkásságának legjellemzőbb tulajdonsága bámulatos sokoldalúsága és óriási elméleti tudása volt; csodálatos invenciója a kutatásnak szinte minden területén mutatkozott. Akármelyik csillagászati témakörrel foglalkozunk, mindenütt találkozunk nevével. Néhány fontosabb eredményét inkább csak mutatóba, röviden felsoroljuk; teljes képet igen nehéz adni munkásságáról, mert sok fontos eredménye egészen elméleti jellegű, népszerű tárgyalásra alig alkalmas.

12. ábra. Karl Schwarzschild

A sokoldalúság egyébként *Schwarzschild*nél szinte program volt és tudományos meggyőződés; abból a szoros kapcsolatból indult ki, amelyik a modern *csillagászat és a fizika* között fennáll és amelyet nála világosabban és nyomatékosabban abban az időben senki nem hangsúlyozott. A klasszikus csillagászat merőben matematikai hagyományaival bizonyos mértékig szembenállott ez a magatartás, de abszolút szükségszerű volt az asztrofizika kifejlesztése szempontjából. „Matematika, fizika, kémia, csillagászat a kutatásnak ugyanegy frontján halad előre... A csillagászat a legszorosabban kapcsolódik az exakt tudományok egész köréhez... Ebből a szempontból igen helyesnek tekintem, hogy érdeklődésem nem szorítkozott a Holdon túli világra, hanem követtem azokat a fonalakat, melyek a mi szublunáris ismereteinkhez vezetnek; gyakran lettem hűtlen az égbolthoz."

Doktori disszertációja még az egyensúlyi alakzatokkal foglalkozik, a klasszikus csillagászatnak ezzel a matematikai szempontból oly érdekes és nehéz fejezetével. Ugyanakkor azonban már az észlelés fontos kérdéseivel is foglalkozott: ő vezette be kettőscsillagok fotografikus észlelésére az objektívrácsot; megalapozta a fotografikus fotometria, sőt részben az egész fényképezési folyamat elméletét; preciziós fotografikus fényességkatalógust készített, a híres Göttinger Actinometrie-t; ő vezette be — alig huszonhét éves korában — a színindex rendkívül fontos fogalmát, csak nála más volt még az elnevezés (Farbtönung); Szerkesztett egy sereg nevezetes műszert és távcsőtípust. Későbbi elméleti munkássága szintén igen jelentős: foglalkozott a csillagrendszer mozgásviszonyaival, és — mint már említettük — matematikailag megalapozta az egyik alaptényt, a *Kapteyn* által fölfedezni vélt „csillagáramok" létezését; levezette a statisztikai vizsgálatok egyik alapegyenletét, a sztellárstatisztika integrálegyenletét, amelynek rendkívül elegáns tárgyalásával még az igényes matematikusok kitüntető elismerését is kivívja; foglalkozott a csillaglégkörök fizikájával is, levezette a Nap „peremsötétedésének" formuláját, nevét őrzi a csillaglégkörök *Schuster—Schwarzschild* modellje; a csillagok belső szerkezetének elméletét pedig tulajdon-

képpen ő alapozta meg a sugárzási egyensúly egyenletének megoldásával. Jól ismeretes a fizikusok előtt, hogy *Schwarzschild* dolgozta ki a relativitás-elmélet úgynevezett egycentrum-problémáját, tehát aránylag kis tömegnek, például bolygónak mozgását nagyobb tömeg (a Nap) erőterében. Ennek során ő mutatott rá először, hogy a klasszikus mechanikában oly rejtélyes, évszázadonként 43 ívmásodpercet kitevő perihélium-elmozdulás, mely a Merkur bolygónál megfigyelhető, megmagyarázható a relativitás-elmélet segítségével.

Schwarzschild tudományos eredményeinél nem kisebb jelentőségű az a hatása, amit a korabeli fiatal német tudósgenerációra tett, nemcsak csillagászokra, hanem matematikusokra és fizikusokra is. A kutatás régi útjai mellett *Schwarzschild* és tanítványai dolgozták ki a korszerűbb problémák felé vivő utakat. Rendkívül átfogó tudása képessé tette arra, hogy távolabbi területeken is mélyreható benyomást gyakoroljon.

Nemrégiben *Max Born*, a neves fizikus emlékezett meg erről. A legnagyobb elismerés hangján szól *Schwarzschild* éles probléma-látásáról, teljesen korszerű szempontjairól, vele szembeállítva, a kor többi német csillagászát bizony némi lekicsinyléssel kezeli. Említi, hogy hosszú ideig habozott, csillagász legyen-e, vagy fizikus, de az akkor még mindig főszerepet vivő poziciós csillagászat aprólékos munkája és az elvi kérdésekben való szegénysége elrettentette. Némi hányódás után *Schwarzschild*hez került, Göttingenbe; ő nem azzal törődött, hogy a meridián-észlelés technikájának kérdéseivel fárassza, hanem olyan témákat adott neki a szemináriumban, amelyek a csillagászati jelenségek fizikai oldala szempontjából voltak érdekesek. Első témája a bolygólégkörök disszipációja volt, ez irányította például *Born* figyelmét a kinetikus gázelmélet és általában az elméleti atomfizika felé.

„De — írja — nem ez volt az egyetlen terület, amelyet *Schwarzschild* tanítása révén ismertem meg... A következő évben (1905) jelent meg az első, az optikai műszerek leképezési hibáiról szóló nagyobb cikkei közül; ezek véleményem szerint klasszikus vizsgálatok, melyet azóta sem múltak fölül a világos és szigorú tárgyalás tekintetében. Ezt a módszert adtam *Optika* c. könyvemben és ez a váza a modernizált változatnak is, mely angolul nemsokára megjelenik (E. *Wolf*fal közösen)."

„*Schwarzschild* különböző — írja *Born* — a korabeli német tudósok méltóságteljes, szakállas típusától, nemcsak megjelenésében, hanem gondolkodásmódjában is, amelyik mindenestől modern volt, vidám, aktív, nyitott a mindennap problémái felé... Személyesen a legvonzóbb ember volt, mindig vidám, szórakoztató, egy kissé gúnyos, de kedves és segítésre kész." Jellemzésül *Born* előadja doktori vizsgájának nevezetes történetét. Különböző személyi problémák miatt nem volt meggyőződve a neves matematikusnak, *Felix Klein*nek jóindulatáról, és ezért némi aggodalommal nézett a vizsga elé a matematikából, mely az egyik melléktárgya volt. „Ekkor *Schwarzschild* azt mondotta, félév bőven elég ahhoz, hogy az ember megtanulja az egész csillagászatot. Adott nekem néhány könyvet olvasásra, és egy kissé foglalkozott velem, ennek fejében én tenisz-leckéket adtam neki." Ezen a vizsgán hangzott el a híres kérdés: „Mit tesz, ha egy hullócsillagot lát?" „Kívánok valamit" — felelte *Born* azonnal, bizonyára a bizottság nem kis megütközésére. „Igen, és utána?" — kérdezte *Schwarzschild* rezdületlen arccal. Most már a szabályos válasz következett: megfigyelni a fölvillanás és eltűnés helyét, megállapítani a repülés időtartamát stb. „...Ez már az égi mechanika kérdéseihez vezetett és a vizsga kielégítő befejezéséhez."

Schwarzschild kiesése a német csillagászatot rendkívüli erejétől fosztotta meg. Az elméleti csillagászat terén azonban a német kutatók — nem utolsósorban éppen *Schwarzschild* hatásának eredményeképpen — továbbra is igen előkelő helyet foglaltak el; ekkortájt, a huszas évek elején indult meg igen intenzíven a csillagok fizikájának már nemcsak adatgyűjtő, hanem elméleti kikutatása is. Mielőtt erre a kérdésre rátérnénk, térjünk vissza az óriásműszerekhez

és a Világmindenség szerkezetének vizsgálatához, amelyek a csillagászati világkép nagy átalakulásához vezetett.

A Mindenség mélységei felé: a gömbhalmazok rendszere

A Galaxis szerkezetének és méreteinek megállapítása a század egyik nagy eredménye. A Mindenség távoli mélységeinek kikutatása e munkával párhuzamosan folyt és a huszas évek derekán eljutott a kutatás a döntő eredményhez, az extragalaxisok távolságának megméréséhez. Ebben a munkában az óriástávcsövek különösen a Mt. Wilson 2,5 m-es távcsöve nemcsak fontosak, hanem teljesen nélkülözhetetlenek voltak. A nagy felismerés különben mintegy két lépésben történt. Először a gömbhalmazok rendszerének szerkezetét és méreteit derítették fel, ez főként *Shapley* nevéhez fűződik; azután tisztázták a spirálködök és más csillagrendszerek Tejútrendszeren kívüli, extragalaktikus jellegét, meghatározták távolságukat, ezt a munkát túlnyomórészt *Lundmark* és *Hubble* végezte el.

13. ábra. Edwin P. Hubble

Mindkét vizsgálatnak alapja egy rendkívüli jelentőségű felismerése, a cepheida-változók úgynevezett periódus-fényesség összefüggésének felfedezése. Ez a felismerés 1912-ben történt és vázlatos története a következő. A Harward-obszervatóriumnak a déli féltekén levő állomásán *Miss Leavitt* a Magellán-felhők cepheida-típusú változócsillagait kutatta. A kis Magellán-felhőben levő változókról észrevette, hogy egy igen feltűnő összefüggést árultak el: minél hosszabb a periódusuk, annál fényesebbek. Az összefüggést — amint azt *Miss Leavitt* megállapította — igen egyszerű formula fejezi ki: a periódus logaritmusa arányos a magnitudóban megadott látszó fényességgel. Első pillantásra ez az empirikus adat csupán egy „adalék", csak egy újabb szem a csillagászati világkép kialakuló mozaikjában. Alapvető elvi jelentőségét *Hertzsprung* ismerte fel; gondolatmenete a következő volt. Feltételezhető, hogy a Kis Magellán-felhő méretei távolságához képest kicsik, vagyis valamennyi csillagát úgy tekinthetjük, mintha egyenlő távolságban lennének — legalábbis jó közelítéssel. A távolság nagyjából megegyező lévén, amelyik csillag fényesebbnek látszik, a „Felhő"-ben az valóban fényesebb is, vagyis a látszó magnitudókból következtetni lehet az abszolút magnitudókra. *Miss Leavitt* eredménye tehát azt jelenti, hogy nemcsak a látszó magnitudók, hanem az abszolút magnitudók is arányosak a periódus logaritmusával.

Ebben a fogalmazásban tüstént szembetűnik az összefüggés szinte felbecsülhetetlen hordereje. Ha ugyanis ilyen összefüggés létezik, akkor egyedül a periódus meghatározásával — ami elvileg egészen egyszerű feladat — meg tudjuk határozni egy cepheida-típusú változó csillag abszolút fényességét, az általa kibocsátott összes fényenergia mennyiségét. Az abszolút fényességet pedig a látszó fényességgel kombinálva, megkapjuk a csillag távolságát.

A periódus-fényesség összefüggéssel *Miss Leavitt* és *Hertzsprung* a legjobb távolságindikátort, távolságjelző kritériumot adta a csillagászok kezébe; a cepheidák ugyanis óriáscsillagok, tehát messziről látszanak és fényváltozásuk messziről jelzi a távolságukat. A trigonometriai parallaxis alig 300 fényéven belül használható; mint futólag már említettük, a spektroszkópikus távolságmérés ezt a határt 1000—2000 fényévre tolta ki; a fényesebb cefeidák azonban több tízezer, sőt több százezer fényév távolságból is észrevehetők és jelzik annak az objektumnak távolságát, amelyhez tartoznak!

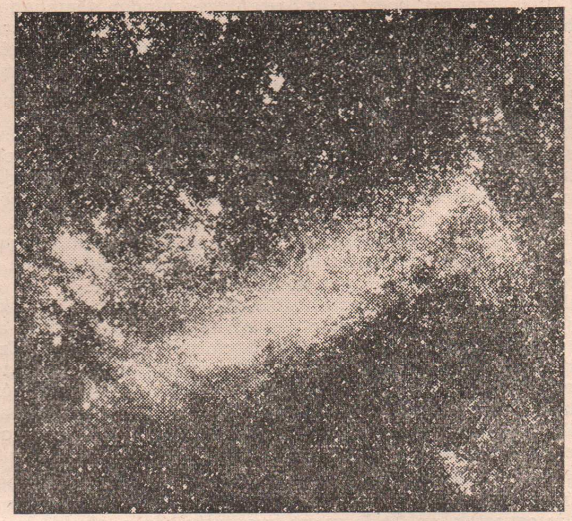
De a helyzetet két körülmény bonyolítja. Először is meg kell állapítanunk az összefüggés úgynevezett „zéruspontját", vagyis meg kell adnunk legalább egy, vagy inkább egy néhány cepheida esetében, hogy egy konkrét periódus milyen távolság-értéknek felel meg, mondjuk, fényévben kifejezve. Amíg ez nem ismeretes, addig *csak viszonylagos* távolságokat tudunk megállapítani, ez pedig érthetően kisebb jelentőségű. Sajnos, a trigonometrikus távolságmérés határain belül cepheidát nem ismerünk és éppen ez a körülmény okozza a nehézséget. Kénytelenek vagyunk ugyanis statisztikai eljáráshoz folyamodni: a cepheidák átlagos mozgásából kellett az átlagos távolságot levezetni, ebből adódott az átlagos abszolút fényesség, tehát végül az összefüggés keresett „zéruspontja". Ez a statisztikai eljárás — különösen aránylag szegényes megfigyelési anyag esetében — nem szolgáltat elég pontos eredményt. A zéruspont esetleges hibája pedig nem kevesebbet jelent, mint azt, hogy minden távolságot, amelyet a cepheidák segítségével állapítunk meg, szisztematikusan vagy kisebbnek, vagy nagyobbnak kapunk a valóságos értéknél, tehát hamis skálát alkalmazunk a Mindenség szerkezetének felmérésére.

A második tisztázandó körülmény az intersztelláris fénygyengítés zavaró hatása. Ez nem okoz ilyen súlyos problémát, eleinte nem is vették tekintetbe.

Az összefüggés zéruspontját először *Hertzsprung* vezette le, mindössze 13 csillag tekintetbevételével. 1916 és 1918 közötti munkájával *Shapley* lényegesen javította a zéruspontot és ez az adat volt érvényben egészen néhány évvel ezelőttig. Nemrég *Baade*, a Mt. Palomar új, nagy távcsövének segítségével kimutatta, hogy a *Shapley*-féle nullapont összefüggés csak az RR Lyrae csillagokra (tehát 1 napnál rövidebb periódus esetén) érvényes, a többi Delta Cephei csillag fényességét viszont másfél magnitudóval, tehát kb. 1 : 4 arányban alábecsülték. Ez pedig érthetően nagyon fontos következménnyel járt. Bár a Tejútrendszeren belül a távolságok nem változtak lényegesen (ezek ugyanis részben az RR Lyrae csillagokra, részben független dinamikai meggondolásokra voltak alapozva), a *Tejútrendszeren kívüli* távolságskálát kétszeresre, sőt a távolabbi objektumok esetében háromszorosra kellett növelni! Ez nyilván lényegesen befolyásolta az extragalaxisok világáról alkotott elképzeléseinket — erre a kérdésre még vissza fogunk térni.

A tízes évek végén azonban ezt a hibát még csak nem is sejtették. Ekkor láttak neki az új *Shapley*-féle zéruspont segítségével a gömbhalmazok távolságának meghatározásához. Gömbhalmazokban ugyanis igen sok RR Lyrae csillagot fedeztek fel és így lehetőség kínálkozott arra, hogy a periódus-fényesség összefüggést alkalmazzák rájuk. Ezt a munkát végezte el *Shapley*, amint a csillagászat egyik krónikása írta, „drámai gyorsasággal nyomulva" a Mindenség távoli mélységei felé.

Shapley munkája valóban mintaszerű volt. A közelebbi gömbhalmazokban megfigyelt RR Lyrae-változók segítségével meghatározta ezek távolságát. Ezeknek a gömbhalmazoknak a távolságát ismerve, meg tudta állapítani azt is, hogy a legfényesebb 20—30 csillag átlagos abszolút fényessége gömbhalmazról-gömbhalmazra nem változik lényegesen. Ez továbbá lehetővé tette számára, hogy megállapítsa további gömbhalmazok távolságát, amelyekben RR Lyrae csillagok nincsenek. Az ilyen módon kapott nagyobb anyagból meg tudta állapítani azt, hogy az egyes gömbhalmazok fényévben mért átmérője nem nagyon különbözik



14/a ábra. A Nagy Magellan-felhő

14/b ábra. A Nagy Magellan-felhő egy része

egymástól. Feltételezve azt, hogy ez az összefüggés minden gömbhalmazra érvényes, a leghalványabb gömbhalmazok hozzávetőleges távolságát is meg tudta adni, a látszó szögátmérőt a fényévben mért átlagos átmérővel kombinálva. Így, a mérőrudakat mintegy egymáshoz illesztve, *Shapley* valóban drámai gyorsasággal tudta kinyomozni valamennyi gömbhalmaz távolságát és ezzel megállapította a gömbhalmazok rendszerének körvonalait is.

Kiderült, hogy a gömbhalmazok igen jelentős, több tízezer fényév nagyságrendű távolságban vannak és a Tejút mindkét oldalán nagy távolságokig megtalálhatók; nem követik a Tejútrendszer lapult alakját, hanem nagyjából gömb alakú térben helyezkednek el benne és körülötte. Ami a legfeltűnőbb volt, a gömbhalmazok rendszere nem mutatta azt a szimmetrikus eloszlást a Nap körül, amit a közeli csillagok eloszlásában találtak. A Nap a gömbhalmazok rendszerének a peremén helyezkedik el, a legtöbb gömbhalmaz ugyanabba az irányba esik, amelyben a Tejút is a legfényesebb és a legvastagabb.

Kézenfekvő volt feltételezni azt, hogy a gömbhalmazok a Tejútrendszerhez képest nagyjából szimmetrikus eloszlásúak, erre mutat mindenesetre az a körülmény, hogy a Tejút két oldalán nagyjából egyformán oszolnak el. Ez pedig azt jelenti, hogy *a Nap nincs a Tejútrendszer középpontjában,* hanem attól tekintélyes távolságban van. A Tejútrendszer szerkezetének, a Nap helyzetének ekkor felismert vázlatos képe azóta teljes igazolást nyert. *Shapley* eredményei voltak tehát az elsők, amelyek megingatták a régebbi, *Kapteyn*-féle „geocentrikus" szkémába vetett bizalmat.

Minthogy az intersztelláris fénygyengítést nem vette tekintetbe, *Shapley* kezdetben túlbecsülte a gömbhalmazok távolságát. Szerencsére, ha a számszerű adatok nem is egyeztek, az általa nyert kvalitatív kép a gömbhalmazok rendszeréről teljesen helyes volt.

Tovább a Mindenség mélységei felé: a galaxisok rendszere

A periódus-fényesség összefüggés jelentette a sarokkövét azoknak a vizsgálatoknak is, amelyek a tejútrendszerek, galaxisok távolságának meghatározásához vezettek. A legfontosabb kérdés végeredményben az volt, hogy az Andromeda-köd, az M 33, M 81 és más spirális és nem spirális ködök a Tejútrendszerhez tartoznak-e vagy vele egyenrangú, különálló csillagrendszerek. A különálló csillagrendszer feltevését, tehát e ködök Tejútrendszeren kívül, extragalaktikus jellegét még a XVIII. század közepén *Kant* felvetette. A „világszigetek" (Weltinseln) felfogása a múlt század nagyrészében uralkodó volt, alátámasztva azzal is, hogy ezeknek a ködöknek jórésze csillagszerű színképet adott. Kézenfekvő volt tehát őket távoli, hatalmas csillagrendszereknek tekinteni.

Két körülmény azonban — a század vége felé — erősen ellene szólt ennek a tetszetős felfogásnak. Az egyik az Andromeda-köd 1885-ben feltűnt nóvája, amelyik csaknem elérte a szabadszemmel való láthatóságot. Ha feltételezzük, hogy ez ugyanolyan nóva, mint a Tejútrendszer legtöbb nóvája, akkor ennek az alapján az Andromeda-köd a Tejútrendszerhez tartozónak, sőt nem is nagyon távolinak mutatja. A másik érv a világszigetek elképzelése ellen az volt, hogy a spirálködök, melyeknek száma a fényképezés bevezetésével rohamosan nőtt, mind úgy helyezkednek el az égbolton, hogy a Tejút sávját éppen elkerülik. Márpedig — mondták a századfordulón —, ha ezek a Tejútrendszertől független, önálló csillagrendszerek, akkor teljesen érthetetlen, miért volna eloszlásuk ilyen szoros kapcsolatban a Tejúttal.

Mindkét érv logikus volt, de mégis — téves. Az Andromeda-köd nóvája esetében az akkor még nem is sejtett körülmény vezette félre a csillagászokat, hogy ez nem közönséges nóva, hanem szupernóva volt és így nem alkalmazhatjuk rá azokat a fényességadatokat, melyeket a Tejútrendszer közönséges nóváiból levezettek. Ami pedig spirálködök eloszlásában mutatkozó különösséget, a Tejút

sávjának elkerülését illeti, ennek oka, mint azóta tudjuk, a következő: a csillagközti fénygyengítést okozó portömegek erősen a Tejút síkjába vannak koncentrálva, ebben az irányban tökéletesen elzárják előlünk a kilátást, mintegy függönyként takarva el jó 25—30 fok szélességű zónában a spirálködöket és más extragalaxisokat.

Ezek a módosító körülmények azonban ötven évvel ezelőtt nem voltak ismeretesek és így századunk elején általánosan elfogadottá vált az ellenkező nézet: az hogy a „világszigetek" feltételezése téves és minden köd a Tejútrendszerhez tartozik.[2] E felfogás szerint tehát tulajdonképpen az egész Világmindenség a Tejútrendszerre korlátozódik. Hogy azonkívül mi van, vagy van-e egyáltalán valami, az akkoriban nem volt ismeretes és ami azt illeti, nem is nagyon tűnt érdekesnek; a problémát fel sem vetették, akár tudományos „struccpolitikából", akár józan várakozásból. Ezt a felfogást látszólag döntő tényként támasztották alá azok a mérések, amelyeket *van Maanen* végzett néhány fényes spirálköd belső sajátmozgásairól. A Mt. Wilson Csillagvizsgáló nagy távcsöveivel készült felvételeken *van Maanen* kimért bizonyos „foltokat" — csillagcsoportokat, ködöket — 7 közeli csillagrendszer esetében és azt találta, hogy néhány év alatt mérhető elmozdulást mutattak. Így arra következtetett, hogy ezek az objektumok aránylag közeliek, ugyanis, ha valóban extragalaktikusak lennének, akkor ez a nagy sajátmozgás, látszó elmozdulás az égen, elképzelhetetlen lineáris (km/sec-ban mért) sebességeket adna a térben. A *van Maanen*-féle mérések alapján általában teljesen eldöntöttnek tekintették, hogy ezek a csillagrendszerek nem extragalaktikusak; meg kell hagyni ugyan, hogy néhányan még mindig kitartottak a régebbi felfogás mellett.

Egy disszonáns mozzanat azonban ismét megzavarta az összképet. A színképben mutatkozó Doppler-effektus révén, a szokott módon, *Slipher* meghatározta 15 spirálköd radiális sebességét, tehát látóvonalba eső, közeledő vagy távolodó sebességét, mely a színkép kimérésével mindjárt km/sec-ban adódik. Mérései meglepően nagy, másodpercenként több száz kilométeres sebességet adtak és ami még meglepőbb volt, minden esetben pozitív radiális sebességet, tehát távolodó mozgást kapott. Megismételte a méréseket néhány további, aránylag halvány extragalaxis esetén és az eredmény ugyanilyen volt.

Ennek alapján viszont inkább ezeknek a csillagrendszereknek a Tejútrendszeren kívüli voltára lehetett következtetni.

A kérdés végleges eldöntésénél döntő szerepe volt *Knut Lundmark* svéd csillagásznak. Újra kimérve a *van Maanen*-féle lemezeket, nagy meglepetésre ugyanazokból a lemezekből egész más eredményt hozott ki, amennyiben semmiféle mérhető elmozdulást nem tapasztalt ezeken a foltokon. A hiba nyilván onnan származott, hogy ezek a rosszul definiált, határozatlan körvonalú foltok, fénycsomók nem alkalmasak a precizios pozíció-mérésre és a belőlük levezetett sajátmozgásoknak nem szabad azt az érvényt tulajdonítanunk, amit a csillagokból, e jól definiált éleshatárú kis korongokból levezetett sajátmozgásoknak. Ezzel pedig hatálytalanítva volt a legfontosabb ellenvetés az extragalaxisok létezése ellen. Utána *Lundmark* megvizsgálta az Andromeda-ködben egyre nagyobb számban felfedezett nóvákat. Ellentétben az 1885-ös nóvával, ezek igen halványak 15—16-od rendűek voltak, legnagyobb fényességük idején is; ez azt mutatta, hogy az 1885-ös nóva valamilyen rendkívüli objektum volt. Ha a nóváknak ezt a halványabb fajtáját tekintjük a mi Tejútrendszerbeli nóváinknak meg-

[2] **Young** írta 1900-ban „A Text-book of General Astronomy" (Az általános csillagászat tankönyve) c. munkájában: „Ami a csillagrendszer legmesszebb levő csillagainak távolságát illeti, semmi határozottat nem mondhatunk, de egészen biztosnak látszik, hogy ez legalább 10—20 000 fényév. Arra a kérdésre, hogy mi van azon túl, hogy a csillagokkal népes tér végtelen kiterjedésű vagy sem, nem adható biztos válasz. Ez idő szerint nincsen semmi ok annak feltételezésére sem, hogy a mi csillagrendszerünket más csillagrendszerektől a gyakorlatilag üres térnek olyan szakadéka választaná el, mely relatíve megfelelne annak, ami bolygórendszerünket elválasztja más csillagok esetleges bolygórendszereitől."

felelő normális nóváknak, akkor az Andromeda-köd távolsága *másfél millió fényévnek* adódott!

Lundmark vizsgálatai 1925-ben láttak napvilágot. Ezzel csaknem pontosan egyidőben dolgozta ki *Hubble* a Mt. Wilson obszervatóriumban a spirálködök távolságmérését a cepheidák, tehát a periódus-fényesség összefüggés alapján. A 2,5 méteres nagy tükrös távcső ugyanis már megmutatta ebben a ködben a fényesebb cepheidákat; alkalmazva ezekre a periódus-fényesség összefüggést, az Andromeda-köd távolsága — az akkor elfogadott zérusponttal! — *egymillió fényévnek adódott.* Ez az adat százalékosan eléggé különbözik a *Lundmark*-féle távolságértéktől, de a két számadat nagyságrendben megegyezik és mindkettő messze felülmúlja a Tejútrendszer méreteit, melyeket a legliberálisabb becslés is mindössze 100—150 ezer fényévnek mutatott.

Ilyen módon az Andromeda-köd extragalaktikus helyzete végleges bizonyítást nyert. Ezzel pedig bebizonyosodott, hogy a Tejútrendszer csak egy, a hozzá hasonló, vele egyenrangú csillagrendszerek közül. Ilyen körülmények között a Magellán-felhők is extragalaktikusnak bizonyultak, bár ezek nem a spirális, hanem egy egészen más: szabálytalan, irreguláris típusát jelentették a galaxisoknak.

Hubble ezután nekilátott, hogy a messzebb levő galaxisok távolságmérésének feladatát is elvégezze. Korszakalkotó jelentőségű munkája főbb vonásaiban azon az úton haladt, amelyen *Shapley* járt a gömbhalmazok távolságmérésével kapcsolatban. A legfényesebb csillagok segítségével *Hubble* meg tudta becsülni a galaxisok távolságát még akkor is, ha azokban a cepheidák, halványságuk miatt már nem voltak felfedezhetők még a 2,5 méteres reflektorral sem. A galaxisok csoportjairól, halmazairól pedig az derült ki, hogy aránylag szűk határok között van bennük az egyes galaxisok fényessége, másrészt a csoport legfényesebb tejútrendszereinek átlagos fényessége halmazról halmazra ugyanaz. Ennek alapján sikerült a galaxisok halmazainak távolságát megállapítani, és egészen néhányszor tízmillió fényévig eljutni.

Ez annak a nagy forradalomnak rövid története, amely rövid néhány év alatt teljesen átalakította a csillagászat világképét és amely lenyűgöző hatást tett nemcsak a csillagászokra, hanem a nagyközönségre is. A megismert Univerzum az addigi felfogással szemben, nem néhány ezer, vagy tízezer fényévig, hanem tízmillió, sőt százmillió fényévekig terjedt.

A csillagászati világkép ilyen megrázkódtatása addig példátlan „kilengést" eredményezett. A régebben túlontúl is óvatos és szerény kutatás a Mindenség szerkezetéről helyt adott a legmerészebb feltevéseknek, sőt spekulációknak, fantáziajátékoknak, melyek valóságos lázrohamként lepték meg a csillagászatot.

A galaxisok távolságának meghatározása ugyanis nem zárta le a kutatás egy szakaszát, hanem szinte azonnal új, impozáns és átfogó vizsgálatok egész sorát indította meg. A tejútrendszerek távolságai megmutatták a Világmindenség valódi méreteit; a csillagászok pedig az új adatok birtokában példátlanul merész vállalkozásba kezdtek: megkísérelték az *egész Univerzum* szerkezetének felderítését.

Kozmológiai elméletek „tündöklése és bukása"

Az ilyenfajta vizsgálatok nem voltak egészen újak, bár a legtöbb csillagász a század elején még nem érdeklődött az ilyen túlságosan is általános és merész kérdések iránt. Mégis már 1826-ban *Olbers* felvetette az egyik legizgalmasabb kozmológiai problémát. Ha a Világmindenség végtelen lenne és benne végtelen sok égitest helyezkedne el, akkor tekintetünk, bármilyen irányba is nézzünk, előbb vagy utóbb csillagba ütközne; ezek szerint azt várhatnánk, hogy az égbolt a megfigyeléssel teljes ellentétben mindenütt olyan fényes legyen, mint a Nap korongja. Röviden szólva, ebben áll a nevezetes *Olbers*-féle paradoxon. Egyik

megoldására a századforduló idején *Charlier* svéd csillagász mutatott rá. Az általa konstruált modell a Világmindenséget hierarchikus szerkezetűnek képzeli el: a csillagok csillagrendszerekbe, galaxisokba csoportosulnak, ezek ismét magasabb rendszert, valamilyen metagalaxist alkotnak, a metagalaxisok ismét egy még nagyobb rendszert és így tovább, a végtelenségig. Könnyen kimutatható, hogy ha eme egymásba skatulyázott rendszerek sűrűsége „kifelé" megfelelő módon csökken, akkor ebben a Charlier-féle univerzumban végtelen tér és végtelen sok égitest mellett is, az égbolt épp olyan sötét marad, amilyennek éjszakánként látjuk. Igaz, ez a modell elég mesterkélt és egyelőre nem támogatja — bár nem is cáfolja — a megfigyelés, elvi jelentősége mégis nagy, mert bebizonyítja, hogy van kiút az Olbers által felvetett problémából.

Később azonban teljesen új felismerések jelentek meg a modern csillagászat horizontján és egészen átalakították a kozmológia régebbi elgondolásait. Az egyik új körülmény a relativitás-elmélet vonása volt*. *Einstein* 1915-ben tette közzé nevezetes elméletét és nyomban megkísérelték alkalmazni Einstein, *de Sitter* és mások, az egész Világmindenségre. Végeredményben még ma sem dőlt el, hogy lehet-e alkalmazni az általánosított Einstein-féle elméletet az univerzumra; az pedig biztossá vált, hogy az elmélet alkalmazása *nem feltétlenül kötelező*, vagyis nemcsak relativisztikus kozmológiák lehetnek. A relativisztikus modellek *egyike* mindenesetre olyan kozmikus taszítóerő felvételét hozza magával, amelyik a távolsággal arányos; ez a taszítás teljességgel észrevehetetlen a mi szűk, földi világunkban, sőt a csillagok között is, de érezhetővé válik a csillagrendszerek sok millió fényévet kitevő távolságainak birodalmában. Ez annyit jelent, hogy a Világmindenségnek „tágulnia" kell, hogy a tejútrendszerek egyre távolabb kerülnek *egymástól* (és így tőlünk is). Számunkra ennek abban kellene mutatkoznia, hogy a galaxisok távolodó mozgása miatt színképükben a Doppler-effektus a vonalakat mind a vörös felé tolja el. Erre a következtetésre először *de Sitter* jutott, 1917-ben. Néhány évvel később (1922-ben) az elgondolást *sokkal* általánosabban kifejtette *Fridmann szovjet fizikus;* ismét néhány évvel később *Lemaitre* a *Fridmann* által fölvetetteket mintegy újra fölfedezte és az elgondolást továbbfejlesztette.

A *Fridmann—Lemaitre*-elmélet kidolgozása időben egybeesett a megfigyelő csillagászat egyik klasszikus fölfedezésével, amelyik nyilván valóban inspirálta a teoretikusokat. Már megemlékeztünk róla, hogy *Hubble* a tejútrendszerek távolságát nagyobb skálán, százmillió fényévekig eljutva határozta meg. A Mt. Wilson-csillagvizsgáló másik kutatója, *Humason* a 2,5 méteres tükörteleszkóp segítségével megmérte ezeknek a távolabbi spirálködöknek távolodó mozgását, a Doppler-effektus alapján. Mérései teljesen megerősítették azt a régebbi következtetést, hogy a galaxisok mind távolodnak tőlünk; *Hubble* pedig, ezeket az új sebességadatokat saját távolságméréseivel kombinálva, 1929-ben egy rendkívül nevezetes felfedezést tett. Azt kapta eredményül, hogy a távolodás sebessége pontosan arányos a távolsággal, vagyis minél messzebb van egy galaxis, annál nagyobb sebességgel „menekül". A harmincas évek elején a legnagyobb mért távolodási sebessége 40 000 km/sec volt — megdöbbentő érték. Azóta azonban az ötméteres, Palomár-hegyi távcső még nagyobb sebességeket mutatott; ma már 60 000 km/sec a szélső érték, amit eddig mérni sikerült, a fénysebesség ötödrésze!

Ezek a sebességértékek önmagukban is némileg gyanússá tették a meggondolásokat, amelyeket az elmélet emberei hozzájuk fűztek. Ma már nem minden

* A relativitás-elmélet más módon is kapcsolódik a csillagászathoz, amennyiben az általános Einstein-féle elmélet csillagászati bizonyítékokra hivatkozik. A kérdés fontossága nyilvánvaló, amikor a Royal Society előtt ismertették az 1919-es **Eddington**-féle fogyatkozási expedíció eredményeit, az egyik résztvevő szerint „a feszült érdeklődés légköre egy görög dráma atmoszféráját idézte". Németországban pedig Európa legnagyobb toronyteleszkópját, az Einstein-tornyot egyenesen azért helyezték üzembe, hogy igazolják (vagy cáfolják) a relativisztikus vörös eltolódást a napszínképből. A több évtizedes erőfeszítések ellenére eddig legfeljebb kvalitatív igazolásról beszélhetünk, a számszerű adatok biztosan nem egyeznek kellően.

csillagász fogadja el a távolodásnak ezeket a sebességeit; csakhogy a helyzet egyelőre az, hogy a színképvonalak észlelt eltolódásának más magyarázata, mint a távolodás, még nem adódott; más, elfogadható, fizikailag megalapozott magyarázat nincs. Nem szabad másrészről figyelmen kívül hagynunk azt, hogy ma már tudjuk: még ha a távolodás reális lenne is, nem az egyetlen lehetséges modell a véges, táguló Univerzum modellje. Ezelőtt egy negyedszázaddal azonban a szkepszisnek e megjegyzései még alig voltak hallhatók. Sokan, a legtöbben szinte rajongással fogadták az Univerzumnak ezt a valóban meghökkentő képét. Pedig ez a következtetés további meglepőeket hozott magával. Következett belőle az, hogy ha a távolodás, a „tágulás" folyamatát az időben visszafelé számolták, eljutottak egy olyan állapothoz, amikor az egész Mindenség anyaga aránylag szűk térben lett volna összezsúfolva, fantasztikus sűrűségű „őscsillagot" alkotva. A világ teremtéséhez jutottunk volna talán? Egyesek ezt elfogadták, sőt lelkesen hirdették, mások éppen itt ennél a következtetésnél ismerték fel az egész koncepció döntő gyengéjét.

Ma már alig lehet elképzelni, hogy a kozmológiai vonatkozású cikkeknek milyen példátlan áradata öntötte el ezekben az években a szaksajtót, de a népszerű-tudományos folyóiratokat, sőt a napilapokat is. Az áradat aztán a harmincas évek során lassan visszahúzódott, amint az érdeklődés fokozatosan átterelődött az asztrofizika kérdéseire, az atomfizika csillagászati alkalmazásaira. De nemcsak egyszerűen a dolgok tehetetlensége, mintegy a kifáradás vetett végett a kozmológia eme „szenzációs" periódusának. Egyre inkább bebizonyosodott, hogy ezek a szenzációk milyen kevéssé voltak megalapozva. Az egész Univerzum szerkezetének kikutatásához nem elegendő támasz a *Hubble*-féle jelenség, a galaxisok távolodása. Szükség volna például a Mindenség közepes sűrűségének felbecsülésére is, ezek a becslések viszont annyira bizonytalanok, hogy az elfogadott értéknél százszor nagyobb vagy százszor kisebb sűrűségértékek még szintén az elfogadhatóság határán belül vannak.

Ilyen körülmények között illuzórikus az a pontosság, amelyre a kozmológia hívei törekszenek. Be kell látnunk, hogy a Világegyetem általános szerkezetének megismerésétől még messze vagyunk, ehhez még mindig nagyon gyérek a megfigyelés adatai. 1932-ben *Einstein* és *de Sitter* ezt határozottan le is szögezték: „Ámbár a zérus-görbületű tér feltevésének megfelelő anyagsűrűség értéke talán némileg magas... kétségtelenül nagyságrendben helyes érték és meg kell állapítanunk, hogy ez idő szerint a tényeket meg lehet magyarázni anélkül, hogy a háromdimenziós teret görbültnek tételeznénk fel". Minthogy a „zérus-görbületű tér", a „nem görbült tér" annyit jelent, hogy a „régi" euklidesi térrel van dolgunk, amelynek geometriáját az iskolában mindenki tanulta, a fenti megállapítás azt jelenti, hogy a világmindenség véges vagy végtelen voltának kérdése *Einstein* és *de Sitter* szerint még kívül fekszik a tényeken alapuló, konkrét, tudományos tárgyalás keretein. E tekintetben tehát a lényeg egyelőre az, hogy a régebbi, nagy feltűnést keltő és sokszor igen szellemes spekulációknak, amelyek — egyebek között — azzal kecsegtettek, hogy esetleg megláthatjuk saját Tejútrendszerünket, saját Napunkat, az egész teret körüljárt fényében, több milliárd évvel ezelőtti állapotában, ezeknek a nagyszabású spekulációknak kora lejárt.

Ezzel véget ért a csillagászati gondolkodás „nagy kalandja", és a kutatók szerényebb, de hasznosabb témákhoz tértek vissza.

A nagyvonalú kozmológiai spekulációk porondján (ha *Pascual Jordan* néhány balsikeres kirándulását nem számítjuk) egy ember maradt: *Eddington*. Évtizedeket szentelt arra, hogy felfedje a Világmindenség szerkezetének „egyszerű titkát", megállapítsa azokat az alapvető számszerű összefüggéseket, amelyek kapcsolatot teremtenek az atom és a világegyetem, a mikrokozmosz és a makrokozmosz között. Kutatásai, amelyek néha megdöbbentő, kerek számarányokat véltek kimutatni, abból a feltevésből indulnak ki, hogy léteznek az egész Univerzumot átfogó egyszerű és általános törvények; vizsgálatai módszertanilag

kifogásolhatók, de aligha nevezhetők „eleve idealistáknak". Ismeretes megállapítás, amit ezzel kapcsolatban *Zsdanov* tett Eddingtonról, aki az Apokalipszis mágikus számát, a 666-ot akarja a természetből levezetni. E sorok írója nem ismeri azt a helyet, ahol ez a megállapítás szerepelne és lehet, hogy *Eddington* éppen ilyen megállapítást soha nem is tett. De az is tény, hogy szuperkozmológiája veszedelmesen emlékeztet a pythagoreus számmisztikára.

Érdemes lesz itt egy talán hosszabb idézetet közbeszúrnunk. A Smithsonian Institution 1944-es évkönyvében rövid (ennél sokkal rövidebb!) beszámolót közölt *A. V. Douglas*, a csillagászat „újabb eredményei"-ről. Ebben külön fejezetet szentel *Eddington* ilyen vizsgálatainak. „E számok: 136, 137, 256, — írja Douglas — sokunk emlékezetében a lelkes érdeklődés, a zavar, a várakozás és talán a nagy meghökkenés gondolatait idézik, ha visszapillantunk az elmúlt tizenöt évre. Egy név áll ezeknek a visszaemlékezéseknek középpontjában, *Sir A. S. Eddington* neve... Többen állottunk bámulva a pálya szélén, ahol a pályán ezt a káprázatos játékot egy ember, egy bűvészmester türelmesen, ügyesen, briliánsan játszott, felhasználva a csoportelmélet elemeit, a kvantummechanikát és a mérések alapegységeit és mintegy bűvészkalapból, atomi és csillagászati állandókat húzott elő. Voltak néhányan, akik rövid időre megálltak, hogy várakozással figyeljék, megmosolyogták, sőt esetleg kigúnyolják az arisztoteleszi mutatványokat. De az elmélet szilárdan és makacsul előrehaladt. Az utolsó három évben is több cikk jelent meg és most már nyilvánvalónak látszik, hogy minden megfigyelési adat nélkül, csupán három alapállandóból, mégpedig a fénysebességből és a hidrogén Rydberg- és Faraday-féle állandóiból elméletileg le lehet vezetni a következő 13 fizikai állandót: az elektron töltése, a Planck-féle állandó, az elektron, proton és hidrogénatom tömege, a gravitációs állandó, az atom finomstruktúra-állandója, a mag távolsági állandója, a magenergia állandója, a Világmindenség tömege, a Mindenség összes részecskéinek száma, a tér Einstein-féle görbületi sugara, a ködök távolodási sebessége. Ez bámulatra méltó eredmény."

Az utóbbi évek fejlődése azonban nagyon rosszul bánt ezzel a „bámulatra méltó" koncepcióval. Az idézett beszámoló így folytatja: „A spirálködök távolodási sebessége például a számítások szerint 572, 36 km/sec megaparsec. *Hubble* és *Humason* megfigyelési értéke 560. Ha a 200-hüvelykes reflektor megkezdi működését, várhatjuk, hogy a megfigyelési értékek közelebb kerülnek az *Eddington*-féle megállapításhoz." Azóta a 200-hüvelykes (5 méteres) távcső működik, meg is határozták a távolodás pontosabb értékét, de az eredmény egyáltalában nem került közelebb az Eddington-féle értékhez. Ki fogunk térni még ebben a beszámolóban a nagy felismerésre, hogy eddig a galaxisok távolságait alábecsültük és azok a valóságban kétszer, sőt esetleg háromszor messzebb vannak, mint régebben gondolták. Ennek kapcsán revideálni kellett a távolodási sebességek térbeli változásának értékét és a javított érték — a réginek csupán fele, 250 km/sec megaparsec körül van! A megfigyelés tehát nemhogy teljesebbé tette volna az egyezést a tények és az *Eddington*-féle adat között, hanem ellenkezőleg, teljessé tette a szakadást és végleg diszkreditálta az egész számkabalisztikát.

Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a legtermészetesebb és a leginkább tudományos az az állásfoglalás — elsősorban a szovjet csillagászok állásfoglalása —, amelyik nem indul ki semmiféle gyenge lábon álló idealista premisszából, hanem az Univerzumot, az egész világot végtelen folyamatnak tekinti, melyben a mi (esetleg több milliárd fényévig terjedő) „környezetünknek", Metagalaxisunknak „tágulása" csupán lokális jelenség lehet a tér végtelenségeihez képest. Ennek az álláspontnak részletesebb kidolgozását *Ogorodnyikov* kísérelte meg,

* Ez azt jelenti, hogy egy megaparsec-kel, vagyis 1 millió parsec-kel nagyobb távolságban (1 parsec = 3,26 fényév = kb. 3.10^{13} km) a távolodás sebessége 572 km/sec-mal nagyobb. (H. T.)

néhány évvel ezelőtt, felelevenítve ezzel kapcsolatosan a *Charlier*-féle hierarchikus Univerzum-modellt.

Az eszmék erjedése a kozmogóniában

Említettük, hogy a ködök távolodása, a Hubble-féle jelenség *egyesek szerint* azt a lehetőséget kínálta, hogy lehetővé válik a Világmindenség távoli múltjának kiderítése. Itt kapcsolódott össze a kozmológia a kozmogóniával, így vezetett el a Világmindenség szerkezetéről való spekuláció a Mindenség történetére tett kijelentésekig. Még ma is vannak — így *Gamov*, az ismert amerikai elméleti fizikus —, akik reménytelen részletességgel tárgyalják a Világmindenség fejlődéstörténetét, az óriási sűrűségű „szuperatomtól" napjainkig.

De már a század elején a kozmogóniának a klasszikus problémákhoz közelebb fekvő, mondhatnánk kevésbé extravagáns fejezetei is fejlődtek. (A „fejlődtek" szó tulajdonképpen nem helyes kifejezés; jobb lett volna csak azt mondanunk: foglalkoztak vele.) Ezeknek a vizsgálatoknak vezető képviselője *James Jeans* volt. Munkássága kiterjedt a kozmogónia szinte minden területére és nem szorítkozott az általa javasolt bolygókeletkezési elméletre, amely megörökítette nevét a szak- és népszerű könyvekben. Míg azonban a galaxisok és a csillagok keletkezéséről vallott spekulációi megfigyelések, tényanyag híján minden alapot nélkülöztek (így a tejútrendszereket folyékony halmazállapotúnak tételezte föl!) és ennek megfelelően egy-kettőre minden érdekességüket elveszítették, nevezetes bolygókozmogóniája nem intézhető el oly röviden.

Tulajdonképpen nem Jeanstól származik az az elgondolás, hogy a bolygóknak a Napból való kiválását egy *közelben elhaladó csillag vonzóereje* hozta volna létre. Még a múlt század végén fölvetette ezt a gondolatot *Moulton* és *Chamberlin*, *Jeans* és kollégája, *Jeffreys* csupán továbbfejlesztette és fizikailag megalapozta. Ez a kiindulás egyáltalában nem volt ötletszerű, hanem mind *Moulton*, mind *Jeans* azért fordult a szóban forgó mechanizmushoz, mert kibúvót kerestek a kozmogónusok fenyegető réme, az impulzusnyomaték-paradoxon elől. Röviden arról van szó: a *Laplace*-féle régi kozmogónia, amely az iskolából oly ismerős, cáfolatot kapott annak felismerése révén, hogy míg a bolygók tartalmazzák a Naprendszer impulzusnyomatékának túlnyomó többségét, tömegük ugyanakkor a Naphoz képest jelentéktelen. Nem képzelhető el olyan folyamat, melynek során a Napból kiszakadt bolygók kis tömegük mellett az impulzusnyomatéknak ilyen viszonylag igen nagy mennyiségét hozták volna magukkal. A „katasztrófa-elméletek" viszont éppen arra hivatkozva próbálják magyarázni ezt a paradox eloszlást, hogy a bolygók impulzusnyomatékukat *kívülről* kapták, a Nap közelében egykor elhaladó csillag — a bolygók „apja" — adott át nekik (a Napra vonatkoztatott) impulzusnyomatékából.

Ez a feltevés elvileg megengedhető és nem lehet minden további megfontolás nélkül elvenni, még akkor sem, ha történetesen azt a következtetést adná, hogy a bolygórendszerek száma az Univerzumban minimális és nagyon kevés olyan égitest lehet, amelyik a Földhöz hasonlóan, életet hordoz. De ezek a katasztrófa-elméletek mégsem tarthatóak. *Russell* 1934-ben rámutatott arra, hogy a közelebbi meggondolások, elemi számszerű becslés szerint ez a folyamat sem látszik alkalmasnak arra, hogy megmagyarázza a bolygók keringő mozgásának nagy impulzusnyomatékait. Eszerint a *Jeans*-féle kozmogóniai is éppen azon a ponton bukna meg, ahol a *Laplace*-féle: nem tudja a közelben elhaladó csillag hipotézise sem megmagyarázni a Naprendszer tényleges szerkezetét. A *Russell*-féle utalást néhány évvel később *Parijszkij* és munkatársai részletesen kidolgozták; nagy számolási munka árán teljes szigorúsággal igazolták az ellenvetésének jogosultságát és így véglegesen megcáfolták *Jeans* elméletét.

Másrészt meg szeretnénk jegyezni, hogy — véleményünk szerint — az elterjedt hiedelemmel ellentétben az a körülmény még nem jelenti a *Jeans*-elmé-

let cáfolatát, hogy napjainkban egymás után fedezik fel közeli csillagok „láthatatlan kísérőit". A preciziós asztrometria ugyanis kimutatta — ha már itt vagyunk, térjünk ki a kérdésre! —, hogy néhány szomszédos csillag mozgása során úgy tér el az egyenestől (illetve kettős csillagoknál az ellipszistől), hogy körülötte keringő, aránylag kis tömegek létezésére kell következtetni. Ezek a kis tömegek a Jupiter tömegének általában mintegy tízszeresét jelentik, vagyis a bolygók és a csillagok között vannak és ezért nem tekinthetjük véglegesen bolygóknak őket; a német szakirodalomban például „bolygószerű kísérők" néven szerepelnek. Ha bebizonyosodna, hogy valóban bolygókról van szó, ez ismét megcáfolná más oldalról, a *Jeans*-féle bolygókozmogóniát. A közeli csillagtalálkozások ugyanis, a csillagok óriási távolságai miatt, egészen valószínűtlenek, nagyon ritkák. A Jeans által javasolt mechanizmus az egész hatalmas Tejútrendszerben alig néhány száz bolygórendszert hozhatott volna létre (arány kb. egy az egymilliárdhoz). Éppen ezért, ha a bolygórendszerek száma aránylag magas lenne, mondjuk minden tizedik csillag rendelkezne bolygókkal, akkor a két számadat között olyan áthidalhatatlan távolság támad, föltétlenül hatályon kívül helyezve a katasztrófa-elméleteket.

További fizikai természetű cáfoló érveket is találtak — *Nölke*, illetőleg *Spitzer* — a *Jeans*-elmélet ellen. A bolygókozmogónia ilyen módon a harmincas évek vége felé ismét elszomorító helyzetbe jutott, úgylátszott, a kérdést nem is lehet érdemben tárgyalni. Erről a holtpontról azok a vizsgálatok mozdították el a bolygókozmogóniát, melyekkel a szovjet csillagászok az exakt, tudományos kozmogónia alapjait megteremtették.

A kérdésre még visszatérünk. Addig is szólnunk kell *Jeans* munkásságának egy másik érdekes, bár szintén azóta meghaladott fejezetéről. Jeans kísérelte meg először, hogy exakt csillagászati kormeghatározást adjon égitestekről. A század elején a kozmogóniának ez az ága különösen nehéz helyzetben volt. A geológusok „követelték" a Föld és a Nap sok száz millió éves élettartamát, ez teljesen evidens volt vizsgálataiból. A csillagászok azonban nem tudtak ilyen hosszú élettartamokat produkálni, a Nap korára például a nagy *Kelvin* alig 40 millió évet számított, a Helmholtz-féle kontrakciós elmélet alapján. *Jeans* volt, aki talán először javasolta, hogy a tömegnek sugárzó energiával való átalakulását — ezt a folyamatot akkoriban fedezték föl — csillagászati kormeghatározásokra alkalmazzák. Ilyen módon minden nehézség megoldódott volna. Akkoriban még úgy tudták, hogy lehetséges az anyagoknak sugárzássá való *teljes* átalakulása, az ismert formula szerint: sugárzó energia = tömeg $\times$ (fénysebesség)^2. Ma már tudjuk, hogy ez az átalakulás nem érintheti csak a tömeg viszonylag kis hányadát, nem jelentheti a tömeg teljes megsemmisülését, az egész csillagvilág sugárzássá való „szétolvadását". Tekintettel a csillagok nagy tömegére, teljes átalakulás mellett billió éves élettartamokat várhatnánk még abban az esetben, ha csupán a csillagok tömegének egy része alakul át, atommag-reakciók során, sugárzó energiává, tízmilliárd év nagyságrendű korok adódnak a csillagokra — amint arra először Eddington mutatott rá. *Két időskála* alakult ki ilyen módon, egy hosszú és egy rövid időskála; az előbbi billió, az utóbbi milliárd évekkel mérte a csillagok és a Nap életkorát. (Geológiai célokra természetesen mindkettő bőségesen elegendő.)

Jeans a hosszú időskálának volt valóságos apostola; ilyen adatokat találunk például „A csillagos ég titkai" című ismert népszerű könyvében. Legfőbb támasza az anyag teljes megsemmisülésének gondolatán kívül azok a számítások voltak, amelyeket a kettőscsillagok pályaelemeinek eloszlására végzett. Ha ugyanis a csillagok igen hosszú ideig léteznek, akkor a csillagtalálkozások, bár egyébként igen ritkák, együttvéve mégis erősen befolyásolják a kettőscsillagok mozgásviszonyait és kialakítják a pályaelemeknek valamilyen „egyensúlyi" eloszlását. *Jeans* úgy találta, hogy az egyes pályaelemek megfigyelt értékeinek el-

oszlása az „egyensúlyi" helyzettel összehasonlítva arra mutat, hogy a kettős-csillagok évbilliókig voltak kitéve a találkozások perturbáló hatásának.

Még feltűnőbb volt az az analóg következtetés, mely a csillagok haladó mozgására vonatkozott. *Seares* 1922-ben közzétett cikkében megvizsgálta, hogy milyen a mozgási energia eloszlása a Tejútrendszer csillagai között. Az akkori adatok alapján az a nagyon meglepő eredmény mutatkozott, hogy a B-típusú csillagok kivételével valamennyi típus mozgási energiája meglepően közel van egy átlagos értékhez. Az energiának ilyen nagyfokú, előrehaladott kiegyenlítődése csak sok billió év közeli találkozásai során alakulhatott ki. Így a *Seares*-féle adat is a hosszú időskála mellett szólt. Ennek elfogadása az égitestek fejlődését, még csillagászati méretekkel mérve is, szinte végtelenül lassúvá tette volna.

Csakhamar azonban komoly érvek merültek fel a hosszú időskála *ellen*. Legelőször is maga a *Hubble*-féle jelenség, mely arról tanúskodik — amennyiben egyáltalán helytálló a vonaleltolódás távolodásként való értelmezése! —, hogy a Világmindenség objektumai, a Világmindenség szerkezete néhány milliárd év alatt lényeges változásokon mehet keresztül. A végső tudományos igazság szempontjából éppen ez az ellenérv a legkevésbé meggyőző, hiszen a távolodás reális voltának kérdése még ma sincs teljesen eldöntve. De a rövid időskála elgondolása hamarosan támaszt kapott más oldalról is. 1938-ban *Ambarcumjan* megmutatta, hogy a kettőscsillagokra vonatkozó *Jeans*-féle korbecslések elégtelen statisztikai adatokon nyugszanak és egyáltalában nem tekinthetők reálisnak. 1948-ban *Gondolatsch* revideálta a mozgási energiákra vonatkozó *Seares*-féle statisztikát; és azt találta, hogy van ugyan valamelyes tendencia az energiák egyenletes eloszlására, de szó sincs arról, hogy az egyenletes eloszlás máris bekövetkezett volna. Közben — és ez volt a legdöntőbb mozzanat — sikerült földeríteni a csillagok sugárzó energiájának forrását, az energia felszabadulásának konkrét mechanizmusát. Ennek során nyilvánvalóvá lett, hogy a csillagok valóban tömegüknek csupán egy töredékét használják fel sugárzásuk fenntartására és korukat nem lehet közvetlenül a tömegből megbecsülni, hanem hidrogén tartalmukat kell tekintetbe venni. Így a már régebben, Eddington által is jelzett, tízmilliárd évekre terjedő csillag életkorokhoz kellett visszatérni. Végül is tehát a rövid időskála teljes polgárjogot nyert és a hosszú időskála végleg kiszorult a kozmogóniai meggondolásokból. Ezzel kiderült, hogy nem a billió éves, mérhetetlenül lassú fejlődésben levő, szinte befagyott univerzumban élünk, hanem a csillagászati fejlődés aránylag elég „gyors" tempójú és minden nehézség nélkül összekapcsolható a geológiából megszokott időtartamokkal.

AZ URÁNIA ISMERETTERJESZTŐ BOLTBAN
(BUDAPEST, VII., LENIN KÖRUT 6)
jutányos áron kaphatók
csillagászati távcsőtükrök, ragasztott achromatikus lencsék, okulárok, kereső, valamint egyéb kisebb távcsövek készítéséhez.
Az optikához prospektust is adunk!

GUMAN ISTVÁN

RÁDIÓCSILLAGÁSZAT

III.

(Befejezés)

Az előző beszámolóinkban a rádiótávcsövekről, a Nap rádiósugárzásáról, Tejútrendszerünk és az extragalaktikák gázfelhőiben keletkező rádióhullámokról beszéltünk. Ezekben az esetekben mindig az égitestben magában keletkezett a rádiósugárzás, tehát a Nap vagy gázfelhő játszotta az adóállomás szerepét. Mai beszámolónkban Naprendszerünk tagjainak rádiócsillagászati vizsgálatairól, a bolygók, Hold és meteorok rádiócsillagászatáról lesz szó. A két utóbbi esetében már olyan távolságokkal van dolgunk, melyet a Földünkről kisugárzott rádióhullám is át tud hidalni. A Hold és a légkörünkben lejátszódó hullócsillagjelenségek esetében tehát megkísérelhető a radartechnikához hasonlóan az égitestről visszaverődő rádióhullám vizsgálata is. Ha beszámolóinkban a rádiócsillagászat fejlődését szigorú kronológikus sorrendben ismertettük volna, akkor ezekről a kísérletekről közvetlenül *Jansky* és *Reber* vizsgálatai után kellett volna szólni, mivel ezek képezték a Nap rádiósugárzásának felfedezése mellett az első komoly csillagászati értékű rádiókísérleteket. Mielőtt azonban ezekről az „echo", vagyis visszhang-kísérletekről beszámolnánk, szeretnék még rövidet a Naprendszerünk tagjai által kibocsátott rádiósugárzásról szólni.

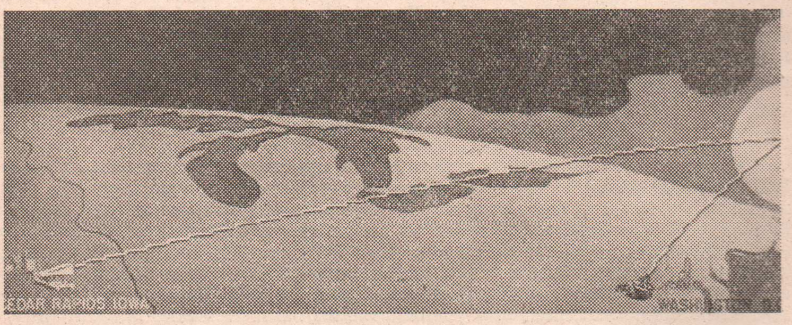
A bolygókról és a Holdról érkező rádióhullámok

Mint már az első részben említettem, a rádiósugárzás nem más, mint az optikai, vagyis látható fénysugárzás hosszabb hullámok felé való folytatása. Így már láttuk a Nap esetében, hogy rádiósugárzásának egyik része az optikai színkép folytatásának felel meg. Az égitest hőmérsékletéből következtetni lehet az általa kibocsátott sugárzás erősségére. Ily módon kiszámíthatóvá vált, milyen intenzitású sugárzás várható a rádióhullámhossz-tartományban a bolygókról és a Holdról. Az elméleti vizsgálatok szerint csak a Holdról várhatunk olyan erősségű rádióhullámokat, melyek a jelenlegi mérési berendezésekkel kimutathatók. Annál nagyobb volt a meglepetés, mikor 1955-ben a washingtoni rádiótelepszkóppal felfedezték, hogy rádióhullámok érkeznek a Földre a Jupiterről. Ez a sugárzás azonban nem volt állandó, hanem rövid kitörésszerű hullámokból állott, melyek nem voltak mérhetők minden esetben, amikor a Jupiter a rádiótávcső látósugarában állott. A Jupiter légkörének szerkezetéről még csak keveset tudunk. Az eddigi megfigyelések azt mutatták, hogy az állandóan különböző sebességgel forgó sávrendszerek mellett a Jupiter atmoszférájában változások is észlelhetők, mint például az 1878 óta ismert híres vörös folt. Azonban találhatók a Jupiteren kisebb, gyorsabb változású légköri foltok is. Egy ilyen, a Jupiter déli mérsékletövében 1901 óta többször előtűnő atmoszférikus zavar hozható a rádiósugárzás forrásával kapcsolatba. Forgásideje megegyezik a rádiókitörések ismétlésének periódusával és a rádiózaj akkor hallható, ha ez a folt a Jupiternek a Föld felé eső részén tartózkodik. A rádiósugárzás keletkezése a bolygó légkörében lejátszódó, a földi villámokhoz hasonló elektromos kisülésekkel kísért viharokkal magyarázható. Mindenesetre ezek a jupiteri villámokkal kísért viharok, melyek ezeket a Földig jutó légköri zavarokat okozzák, sokkal erősebbek kell legyenek, mint a Föld atmoszférájában lejátszódó elektromos kisülések.

Legújabban sikerült hasonló, de kisebb intenzitású sugárzást a Vénusz felől is észlelni és éppen e cikk írása közben érkezett a hír, hogy a Mars 1956. évi oppozíciója alkalmával e bolygó irányából is mértek rádiósugárzást.

Más jellegűek a Holdról hozzánk érkező rádióhullámok, melyek nem is ke-

letkezhetnek oly módon, mint a Jupiteren, mert hiszen a Holdnak nincs is légköre. A Hold rádiósugárzása termális eredetű, azaz a hozzánk érkező sugárzás függ a felület hőmérsékletétől, mint azt már az 1949-ben végzett mérések is mutatták. Ezek szerint a sugárzás erőssége a Hold fázisával párhuzamosan változik. A mérések folyamán egy érdekes jelenségre lettek figyelmesek: a rádiósugárzás intenzitásának változása bizonyos késést mutat a holdfelület hőmérséklete, azaz a Hold fázisváltozásához viszonyítva. A Hold felületi hőmérséklete telihold idején a legmagasabb; ekkor éri el a Nap a holdbeli delelését a felénk mutató holdmeridiánon. Holdtölte előtt és után teljesen szimmetrikusan növekszik és csökken a holdfelület optikai hullámhossz-tartományokban mérhető hőmérséklete. A centiméteres rádióhullámhossz-tartományokban mért hőmérsékletváltozás növekedése és csökkenése szintén szimmetrikus, azonban a hőmérséklet nem holdtöltekor, hanem valamivel ez után éri el legnagyobb értékét. Ez a jelenség teljesen hasonló ahhoz, amikor a földfelület felmelegedése csak bizonyos késéssel követi a napsugárzás intenzitásváltozását, azaz a legnagyobb felmelegedés nem délben, hanem valamivel megkésve, ez után következik be. A Föld esetében ennek igen könnyű a magyarázatát megadni: a légkör hőszi-



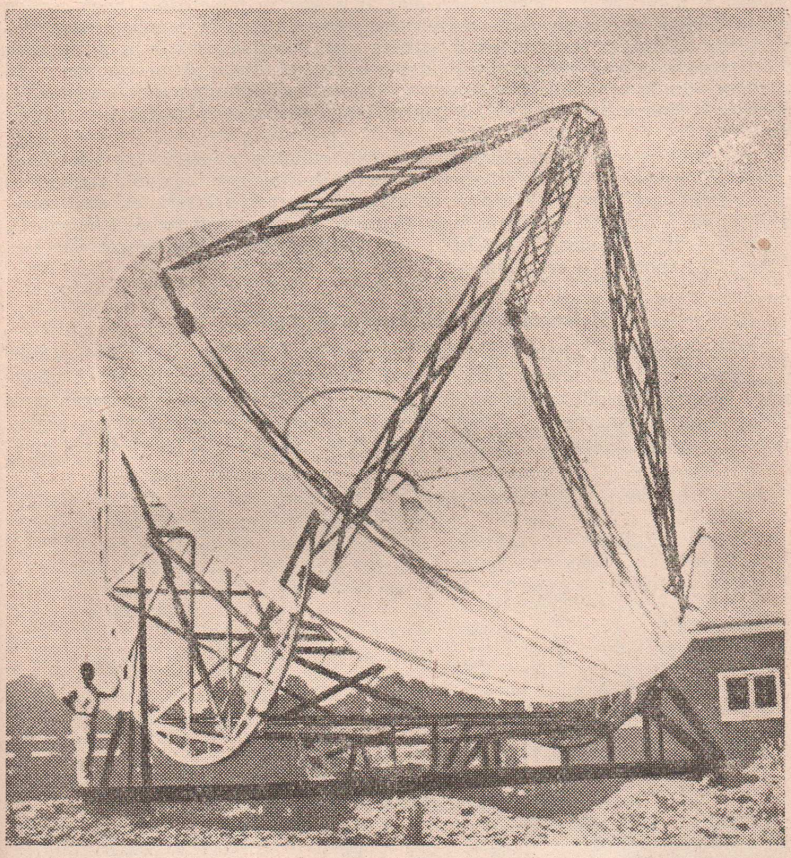
15. ábra. Rádióösszeköttetés a Hold segítségével. A baloldali adóállomásról kibocsátott Morse-jelek a Holdról visszaverődve kb. 2,5 másodperc múlva érkeztek a jobboldali vevőantennához

getelő hatása folytán a lehűlés nem követi közvetlenül a melegbesugárzás csökkenését. A Holdnak azonban nincsen légköre és ezért az optikai tartományban mért hőmérsékletváltozás, ami a közvetlenül a világűrrel érintkező holdfelszín hőmérsékletváltozásának felel meg, késedelem nélkül követi a besugárzott hőmennyiség változását. A rádiósugárzás eltolódását a holdfázisokhoz viszonyítva pedig azzal lehet magyarázni, hogy a holdfelületet egy porréteg fedi, melyen az optikai és hősugarak nem hatolnak át, de a rádióhullámok részére ez nem jelent akadályt, úgyhogy az észlelt rádiósugárzást az e porréteg alatt található szilárd felület bocsátja ki. Ily módon ez a porréteg, melynek jelenlétére a polarizációs mérések már a Hold rádiósugárzásának felfedezése előtt is utaltak, a Hold felületén ugyanolyan szerepet játszik a rádiósugárzás hullámhossz-tartományában, mint a földi légkör az optikai és hősugárzás hullámhossz-tartományaiban. A rádiótávcsövekkel mért eredményekből azt is sikerült kiszámítani, hogy a közepes mélység, melyből a rádiósugárzás kiindul, kb. 40 cm-rel van a Hold optikai felülete alatt.

A „holdkísérlet"

Mint már fentebb említettem, nem túl nagy távolságok esetében megkísérelhető — a radarmérésekhez hasonlóan — az égitesteket is rádióvisszhang segít-

ségével elérni. Erre a célra természetesen legközelebbi szomszédunk, a Hold látszott a legalkalmasabbnak. 1946-ban egyszerre több kutató kísérelte meg, egymástól függetlenül, a Holdat rádióhullámok segítségével elérni. Egyik ilyen sikerrel járó ún. „holdkísérletet" éppen nálunk, Magyarországon az Egyesült Izzó laboratóriumában sikerült elvégezni. Egy megfelelően épített antennarendszer segítségével, rövid rádióimpulzusokat sugároztak a Hold felé és egy igen



16. ábra. Az a parabolikus antenna, amellyel a Holdról visszaverődő jeleket felfogták

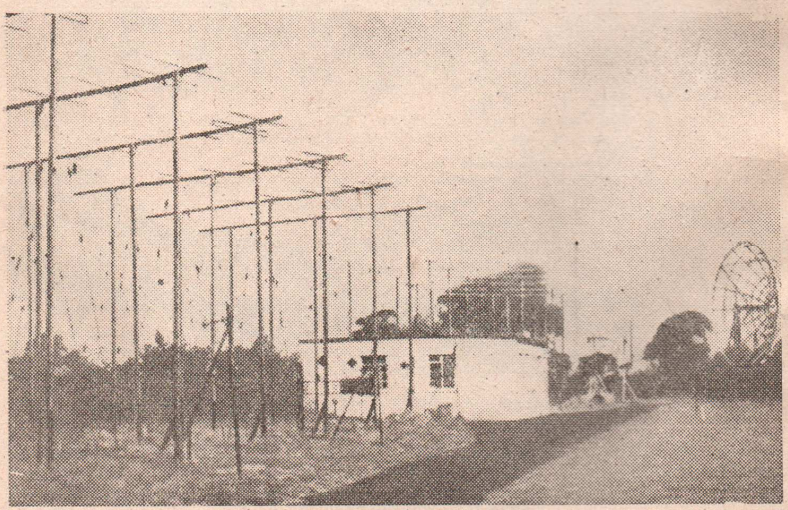
elmésen szerkesztett vevőberendezéssel figyelték a holdfelületen visszaverődő és a kibocsátó állomásra visszaérkező jeleket. A vevőberendezés valóban kimutatta, hogy a kibocsátott impulzusok 2,5 másodperc múlva újra visszaérkeznek, amint az várható volt. Az 1946-ban épített berendezések a mérési határ küszöbén dolgoztak, mert a visszaérkező rádióhullámok igen gyenge intenzitásúak voltak, mivel a holdfelület elég nagy szórás és energiaveszteség kíséretében ref-

lektálja őket. Később azonban a rádiótechnika fejlődése folyamán már lényegesen jobb eredményeket értek el. Különösen érdekes az 1951-ben, az Amerikai Egyesült Államokban végzett holdkísérlet, melynek folyamán két távoli állomás között sikerült a Holdon keresztül rádióösszeköttetést létesíteni. A leadó Iowa államban volt, a vevőberendezés pedig tőle 1200 km-re, Washingtonban. A morse jelekkel leadott szöveget, mely a Hold felületéről visszaverődött, sikerült 2,5 mp múlva a parabolikus kiképzésű, 9 m átmérőjű vevőantenna segítségével felfogni. Ezzel kapcsolatban már az a terv is felvetődött, hogy esetleg lehetővé válik a televíziós adás a Hold segítségével. Ez még azonban kissé fantasztikus és merész tervezetnek látszik és nem is volna praktikus, mivel csak ott lehetne az adást fogni, ahol a Hold a horizont felett van. Attól azonban valószínűleg nem is vagyunk olyan messze, hogy ultrarövidhullámú rádióadás mesterséges holdak segítségével váljék nagyobb területeken is láthatóvá, illetve hallhatóvá.

Az előbb mondottakkal kapcsolatban valószínűleg mindenki előtt felmerül rögtön a kérdés: talán nem lehetne-e Naprendszerünk egy távolabbi tagjáról is rádióvisszhangot kapni? Ezen a téren még nem jártak a kísérletek eredménynyel, mivel a várható visszhang, még akkor is, ha a két legközelebbi bolygóról, a Marsról vagy Vénuszról verődne vissza, csak egy milliomod részét tenné ki a Holdról kapott echo erősségének.

Meteorészlelés rádióhullámok segítségével

Vannak azonban olyan „égitestek" is, melyek a Holdnál is közelebb jutnak a Földhöz, ezek a meteorok vagy népszerű nevükön, a hullócsillagok. A világűrből érkeznek Földünkre és legtöbb esetben csak grammnyi vagy éppen csak milligrammnyi tömegűek. A világűrből naponta igen nagy számú meteor szalad nagy sebességgel Földünk légkörébe, ahol többé-kevésbé erős fényjelenség kísé-



17. ábra. Az az antennarendszer, amellyel az állandó meteormegfigyelést végzik a Jodrell Bank-i kísérleti állomáson. Jobboldalt hátul a 10 méteres rádióteleszkóp látszik

retében elpárolog. A gramm nagyságrendű tömegűek fénye sokszor a legfényesebb csillagok fényerejét is felülmúlja, de holdtalan éjszakákon még a milligramm nagyságrendű tömegűek felvillanása és pályája is követhető szabad szemmel. A becslés szerint naponta több száz millió ilyen kő- vagy vasrészecske kerül légkörünkbe, melyek össztömege több tonnát is kitehet. Pontos mérésük és megfigyelésük azonban igen nehéz és a rádiócsillagászati módszerek bevezetése előtt keveset tudtunk ezeknek az égitesteknek a pályájáról és mozgásáról. A felső légkörben a meteor pályája mentén keletkező fénycsík olyan rövid ideig látható, hogy ennek alapján történő irány- és sebességmérés vizuális módszerekkel úgyszólván lehetetlen. A fotografikus megfigyelési módszerek ezen valamennyire segítettek, azonban, sajnos, ily módon is csak a fényesebb meteorok váltak észlelhetővé, ha ezt az időjárás vagy a holdfény éppen nem akadályozta meg, nem is beszélve arról, hogy ez a megfigyelési módszer is csak az éjszaka időszakában alkalmazható. A meteor energiájának egy része azonban ionizálja a levegőt pályája mentén, és ez az elektromos töltésű légoszlop a rádióhullámokat viszaveri. Ily módon hasonlóan ahhoz, ahogy a radarkészülékek a repülőgépet felkutatták, a rádiócsillagász e célra szerkesztett műszerei is jelzik a légkörünkbe jutó meteorokat. Az utóbbi években ezek a rádiócsillagászati műszerek igen nagy érzékenységet és pontosságot értek el. Kidolgoztak olyan módszereket, melyek segítségével a meteorok iránya és sebessége kellő pontossággal mérhető és olyan műszereket is építettek, melyek naponta több száz meteor adatait automatikusan feljegyzik. Nem kell azonban azt gondolni, hogy csak ilyen komplikált berendezésekkel lehet meteormegfigyeléseket végezni. Már 1941-ben feltűnt két hindu rádióamatőrnek, hogy a rendes rövidhullámú műsorvétel közben csökkenő hangmagasságú, kb. 1 másodpercig tartó füttyhangokat hallanak. Ennek okát keresve, rájöttek, hogy ugyanakkor, amikor egy ilyen hangosabb fütty hallható a készülékben, egy fényes meteor is látható. Ennek magyarázata, hogy az adóállomás sugárzása a meteorpálya mentén visszaverődik és így a közvetlenül érkező hullámmal, egy ilyen fütty alakjában hallható interferenciajelenséget okoz. Ennek a módszernek a továbbfejlesztésével sikerült igen sok meteor sebességét meghatározni.

A rádiócsillagászati módszerek előtt csak kevés esetben és ekkor is csak pontatlanul sikerült a meteorok sebességét meghatározni. Ezek a mérések nem tudták eldönteni, hogy a meteorok Naprendszerünkhöz tartoznak-e, vagy a csillagok közti térből érkeznek hozzánk. Míg a fotografikus módszerrel alig egynéhány meteor sebességét sikerült meghatározni, addig a fenti rádiócsillagászati mérések segítségével egypár hónap alatt 11 000 meteorsebességet mértek. Ezek kiértékelése után már nem volt nehéz az előbb említett, kozmogóniai szempontból is fontos kérdést eldönteni. A sebességek statisztikája szerint a meteorok Naprendszerünk tagjai, tehát azok a feltevések, melyek az intersztelláris eredet mellett érveltek, elesnek. Ilyen nagyszámú meteor természetesen csak úgy volt mérhető, hogy a berendezés éjjel-nappal, jó és rossz időben állandóan működött.

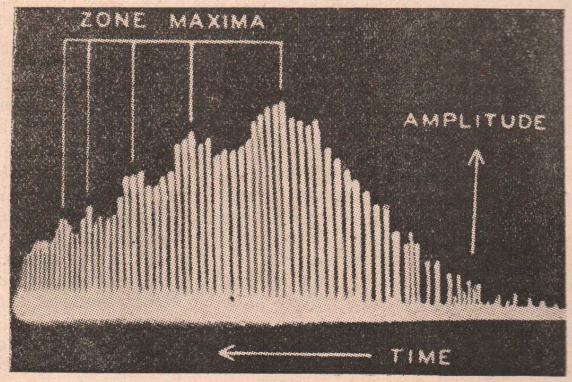
A nappali megfigyelés egy másik érdekes eredményt is hozott a meteorcsillagászatban. Mint közismert, a meteorok nem érkeznek állandóan egyforma gyakorisággal légkörünkbe, hanem bizonyos napokon vagy órákban igen sok meteor látható, míg máskor csak néha-néha villan fel egy-egy az égbolton. Ennek magyarázata, hogy a meteorok egy része rajokban kering a Nap körül és mikor a Föld pályamozgása folyamán egy ilyen rajjal találkozik, légkörünkbe igen sok meteor jut. Már régen megfigyelték, hogy az ilyen meteorrajok sokszor bizonyos üstökösökkel vannak kapcsolatban. Több ilyen meteorraj azonban nem volt minden alkalommal megfigyelhető, mivel előfordult, hogy a raj éppen a Nap által megvilágított féltekén találkozott a Földünkkel. Rádiócsillagászati módszerekkel azonban sikerült ilyen nappali meteorrajokat is észlelni. Legmeglepőbb azonban az volt, hogy több olyan nyári nappali meteorrajt észleltek,

melyek rövid keringési idejű pályákon mozognak a Nap körül és éjjel nem is láthatók sohasem. Ilyen meteorrajok létezéséről a rádiócsillagászati megfigyelések előtt nem is tudtunk.

A meteormegfigyelések rádiócsillagászati módszerei felhasználhatók a felső légkör fizikai vizsgálatára is. Értékes segítséget adnak a meteorok a magaslégkör meteorológiai vizsgálataihoz is. Segítségükkel meghatározható az e magasságokban uralkodó nyomás, hőmérséklet, szél, és más, különösen a magaslégköri repülésnél és rakétakutatásnál fontos adat. Az atomfizikai átalakulások, melyek a meteor elpárolgása közben fellépnek, az ionizációs felhő keletkezése és ezen a rádióhullámok visszaverődése és szóródása érdekes fizikai kérdések vizsgálatait teszik lehetővé.

A Nap rádiómegfigyelésének gyakorlati jelentősége

A Nap megfigyelése már a rádiócsillagászat kifejlődése előtt is sok érdekes eredménnyel járult a Föld légkörében lejátszódó elektromos jelenségek vizsgálatához. A napfoltok eredetéről és mibenlétéről még nem tudunk sokat, de ismerjük hatásukat a Föld légkörére. Különösen a rádióösszeköttetésekre és a felső légkör jelenségeire gyakorolt hatás bír gyakorlati jelentőséggel. Közismert például, hogy egy nagyobb napfolt hatására némelykor teljesen megszűnik a kontinensek közti rádióösszeköttetés. A Nap maga, mint ezt az előző beszámolónk-



18. ábra. Egy meteorpálya regisztrálása rádióecho segítségével. A maximális zónák elhelyezkedéséből kiszámítható a meteor sebessége

ban láttuk, optikai sugárzása mellett a rádióhullámok tartományában is kibocsát hullámokat, melyek a napkoronából látszanak eredni. Ha azonban egy folt jelenik meg a napfelületen, a rádiósugárzás erősen megnövekszik, és mint már tudjuk, ezek az intenzív kitörésszerű rádióhullámok a foltban vagy ennek környékén keletkeznek. Ha a folttevékenység a Napon erősen megnövekszik, a foltcsoport vidékén napfáklyák jelennek meg. Maga a napfáklya általában csak néhány percig szokott látszani, de megjelenésével egymással összefüggő események sorozata indul meg, melyek hatása a Földön még néhány nap után is kimutatható. E hatásokat két tényező váltja ki: először az erős ultraibolya sugárzás kibocsátása, másodszor pedig anyagi részecskék nagy energiájú kisugárzása. Utóbbi valószínűleg a mélyebb rétegekből a Nap légkörébe kitörő hidrogéngázok kidobásával áll kapcsolatban. Az ultraibolya sugárzás hatása már nyolc perc

múlva kimutatható a Föld légkörében, mivel ennyi idő alatt ér a fény a Naptól a Földig. A kidobott anyagi részecskékből álló sugárzás már kisebb sebességgel halad, csak kb. 24 óra múlva éri el Földünket; ennyi idő alatt teszi meg a 150 millió kilométeres Föld—Nap-távolságot.

Az erős ultraibolya sugárzás hatására ionizációs réteg keletkezik, nyolcvan kilométer magasságban a Földünk légkörében. A rendes kontinensközi rádióösszeköttetés hullámai az ennél magasabban levő *E* és *F* ionoszféra-rétegekről verődnek vissza, úgyhogy a nyolcvan kilométer magasságban ionizálódó levegő a rádióhullámokat elnyeli, és a rádióösszeköttetés megszűnik. A sugárzás hatása sokszor olyan erős, hogy a rádióvétel egyik pillanatról a másikra teljesen megszűnik. Ezzel egy időben erős rádiósugárzás észlelhető a napfáklyák környékéről. Ez lehetővé teszi a naptevékenység légkörünkkel való kapcsolatának részletesebb tanulmányozását. Eddig az optikai észlelések az időjárástól függtek, és ezért sokszor nem lehetett a felső légkör és a naptevékenység kapcsolatát akadálytalanul tanulmányozni. Ez a megfigyelési korlátozás a rádiótávcsövek esetében nem áll fenn, mert mint azt már többször említettük, ezek működését a rossz időjárás nem akadályozza. Az ultraibolya sugárzás által okozott rádiófading azonban szerencsére nem tart sokáig, úgy hogy általában egy félóra múlva az összeköttetés újra helyreáll. Ezzel azonban még nem ért véget a napkitörés hatása, mert egy nappal később a lassabban haladó korpuszkuláris sugárzás is eléri a Földet. Ennek hatása viszont az ionoszféra *F* rétegében okoz komoly zavarokat. Ez nem vonja ugyan maga után a rádióösszeköttetés teljes kiesését, mint az előbbi esetben az ultraibolya sugárzás, azonban napokon keresztül komoly zavarokat okoz a nagytávolságú rádiózásban. Ezzel egyidőben gyakran erős sarki fény is látható.

E jelenségek kapcsolatait és lefolyását már jól ismerjük, keletkezésük részletes elméleti magyarázatát azonban nem tudjuk minden esetben megadni. Különösen homályos a korpuszkuláris sugárzás elmélete. A rádiótechnika alkalmazásával azonban egy új út nyílt meg a csillagászok előtt e kérdések tanulmányozására. Érdekes eredményeket várhatunk a rádiótávcsövektől a napfáklyák és napfoltok, a rádióechóval történő vizsgálatoktól pedig a sarki fény és a Nap korpuszkuláris sugárzásának tanulmányozása területén.

*

Három rövid cikk keretében bejártuk a rádiócsillagászat területét. Láttuk, hogy ez az alig egy évtizedes tudományág — mert hiszen a háború előtti szerény kísérletek eltörpülnek az újabb eredmények mellett — szinte elképzelhetetlen rohamban fejlődik. Az elért eredményeket felmérve, nyugodtan mondhatjuk, hogy a rádiócsillagászat az asztronómiai tudományok minden ágában jelentős szerepet kapott. Befejezésül kíséreljük meg a különböző területeken elért és várható eredmények felmérését.

Az extragalaktikák tanulmányozásában az eddigi vizsgálatok még úgy látszik csak a legelső lépéseket jelentik. A rádióhullámok tartományában máris nagyobb részét tudjuk a világegyetemnek vizsgálni, mint az optikaiban, a rádiótávcsövek hatósugara máris nagyobb, mint a legnagyobb teljesítő képességű optikai távcsőé, a palomárhegyi ötméteres tükörteleszkópé. Igaz, hogy a rádiótávcső még nem árul el sokat az általa vizsgált égitestek tulajdonságaiból, de az elektronika technikai fejlődése nemsokára kilátásba helyezi a rádiósugárzás részletesebb spektroszkópiai vizsgálatát is. A kifejlődésben levő rádióspektroszkópia azonban, már e kezdeti stádiumában is — mint ezt a hidrogén 21 cm-es sugárzásával kapcsolatban láttuk — Tejútrendszerünk vizsgálatában korszakalkotó eredményekre vezetett. E területen igen jelentős eredmények várhatók a távoli extragalaktikák rádióspektrumában észlelhető vöröseltolódások vizsgálatától is. Az első lépést már ez irányban meg is tették, sikerült az első 21 cm-es hidrogénvonal-eltolódásokat egynéhány közeli extragalaktikában meg-

határozni. Tejútrendszerünk szerkezetének a vizsgálata is még sok érdekes eredményt fog hozni. Különösen a spirálkarok további követése, a Tejútrendszer magjának a vizsgálata és a különálló hidrogénfelhők rádióspektroszkópiája ígér sok értékes újdonságot.

Azonban a Naprendszerünkön belül elért eredmények se jelentéktelenebbek. A napfelület fizikai megismerésének is nagy segítségére volt és lesz méginkább a rádiócsillagászat. Különösen a napkoronával kapcsolatos vizsgálatok eredményei jelentősek. Azonban, mint beszámolónk utolsó fejezetében láttuk, mindennapi gyakorlati jelentősége is van a rádiócsillagászati napmegfigyeléseknek. Különösen jelentősek a rádióösszeköttetések prognózisában elért eredmények.

A rádiócsillagászat más gyakorlati alkalmazásai is kezdenek kibontakozni. Most kezdték el az első kísérleteket a rádió-meridiánasztronómia területén, és majd ha az optikai pontosságot sikerül elérni, akkor a pontos időszolgálat lényegesen meg fog javulni, mivel a meridiánátmenetek az időjárástól és napszaktól függetlenül lesznek megfigyelhetők. Ha majd sikerülni fog a Holdnál távolabbi égitestekről is rádióvisszhangot kapni, a rádióhullámok egy új csillagászati alkalmazása előtt fog az út megnyílni. A rádióechó segítségével mért távolságokat fel fogjuk tudni majd használni a pályaelemek meghatározásánál. Ily módon majd lehetővé válik a napparalaxis és ezáltal a Naprendszerünkben használt mértékegység, a Csillagászati Egység pontosabb meghatározása.

Utoljára, azonban nem utolsósorban említem a rádiócsillagászat hatását az elméleti, különösen az asztrofizikai kutatásokra. Segítségével olyan fizikai folyamatok megismerése és tanulmányozása vált lehetővé, melyekről a laboratóriumi kísérletekkel dolgozó fizikus nem is álmodhatott. Különösen a legkülönbözőbb, laboratóriumban meg sem közelíthető állapotokban levő gázokban végbemenő atomfizikai folyamatok elméletei vizsgálata területén elért és várható eredmények jelentősek.

Jelentős a rádiócsillagászat befolyása a kozmogónia és kozmológia fejlődésére is. Mind a Világegyetem ismert részének megnövekedése és a távoli extragalaktikák kutatása, mind a Tejútrendszer szerkezetének a felismerése, mind a meteorok Tejútrendszerünkhöz való tartozásának a bizonyítása, hozzá fognak járulni új kozmogóniai elméletek kifejlődéséhez.

Azonban nemcsak a csillagászat, hanem a technika is sokat köszönhet a rádiócsillagászatnak, mivel újabb műszerek és technikai módszerek kifejlesztésével e területen is elősegítette a fejlődést.

Mint már többször kiemeltem, a rádiócsillagászat fejlődése mind megfigyelési, mind elméleti vonalon igen gyors. Úgyszólván naponta érkeznek hírek újabb és újabb rádiócsillagászati felfedezésekről és ezekről lapunk hasábjain is be fogunk majd számolni. Szolgáljon e rövid kis fejezetekből álló rádiócsillagászati cikk ezekhez bevezetésül.

Budapesti Uránia Bemutató Csillagvizsgáló

BUDAPEST, I., SÁNC UTCA 3/b. TELEFON: 258—268

A nyár folyamán minden este 8 órakor ismeretterjesztő csillagászati előadás és ismeretterjesztő filmek vetítése. Derült idő esetén távcsöves bemutatás is.

Az Uránia megközelíthető a 18-as, 60-as és 63-as villamosokkal, továbbá a 8-as autóbusszal. Belépődíj felnőtteknek 2 Ft, gyermekeknek 1 Ft

ZERINVÁRY SZILÁRD

AZ ÜSTÖKÖSMAGOK FIZIKÁJA

Az égbolton időnként egy apró, kissé elmosódott, ködszerű pontocska jelenik meg, mely egyre nagyobbá válik. Bizonyos idő múlva már ködszerű foltnak látszik, miközben a növekedés egyre tart. Ilyenkor már nemcsak távcsövekkel, hanem szabad szemmel is látni lehet. A folt közben egyre fényesebbé válik, és végül hosszú csóvát fejleszt, amelyet uszályként húz maga után.

Az égitesteknek ezt az érdekes, különleges fajtáját üstökösöknek, vagy idegen szóval kométáknak nevezzük. (A *kométa* görög eredetű szó; magyar jelentése: *„hajas csillag"*. Ez az elnevezés az üstökösök csóvájára utal.)

Az üstökösök nem tartoznak a ritka égitestek közé. Volt már olyan év, amikor tíznél is több üstököst fedeztek fel. A Naprendszer belső terében (ez alatt azt a gömb alakú térséget értjük, amelynek a sugara a Föld közepes pályasugarával egyenlő) évszázadonként több mint ezer üstökös halad át.

A szabad szemmel is látható üstökösök száma aránylag kicsi. Javarészük csak távcsővel látható. *Ezeket az üstökösöket teleszkópikus üstökösöknek nevezzük.*

Valamikor magasan a Föld felszíne felett (tehát a felső légkörben) szálló felhőknek tartották őket. *Tycho Brache*, a híres dán csillagász volt az első, aki kimondta az 1577. évi üstökösről, hogy ugyanazon csillagok közelében lehet látni Prágában is, mint a Balti-tengerben levő Hven-szigetén. (Ezen a szigeten volt ugyanis *Tycho Brache* Uranienborg nevű obszervatóriuma.) Ebből azt a további következtetést vonta le, hogy az 1577. évi üstökös messzebb volt a Földtől, mint a Hold.

Newton volt az, aki jelentős mértékben továbbfejlesztette az üstökösökről szerzett ismereteinket. Kimutatta, hogy az üstökösök ugyanúgy a gravitáció törvényei alapján haladnak pályájukon, mint a Föld és a többi bolygó. Általában azonban az üstökösök pályái jóval excentrikusabbak (elnyújtottabbak), mint a bolygókéi, amelyek első megközelítésben kör alakúaknak tekinthetők.

*

Tudott dolog, hogy az üstökösök három fő szerkezeti elemből állnak. Tömegük úgyszólván a legsűrűbb részükben, az úgynevezett magban összpontosul.

A magot egy jóval ritkább ködszerű gázburok veszi körül: az *üstök* vagy *kóma*. Az üstökös magja és kómája együttesen alkotják az üstökös *fejét*.

A három szerkezeti elem közül csak a magot tekinthetjük állandó képződménynek. A magnál feltűnőbb és nagyobb kóma, valamint a még feltűnőbb csóva csupán átmeneti jellegű képződmények, amelyek a magból kiáramló anyagból állnak.

Az üstökösök magját régebben laza meteorhalmaznak tartották. Ezt a felfogást látszólag megerősítette az a tény, hogy magukból az üstökösökből is állandóan leválnak egyes darabok, amelyekből meteorrajok keletkeznek. Ez a felfogás lényegében azonosította egymással az üstökösöket és a meteorrajokat, azzal a megszorítással, hogy a meteorrajok az eredetileg is laza halmazok további felbomlása során jönnek létre.

A magot és a kómát egymástól elhatárolni igen nehéz feladat. Ezen a téren *Voroncov-Veljaminov* végzett több érdekes vizsgálatot és számítást, amelyek elsősorban a *Halley*-féle üstökös magjának kutatására irányultak. Az üstökös vizsgálatát már 1909-ben megkezdte. Ebben az időben az üstökös még olyan messze volt a Naptól, hogy a fénye csak visszavert napfény volt. Számításai során feltételezte, hogy a fény visszaverődése egy összefüggő szilárd testről történik, amelynek fényvisszaverőképessége a Holdéval egyenlő. Az üstökös fényessége alapján a mag átmérőjét körülbelül 30 km-re becsülte. A mag átmérője azonban a valóságban nem lehetett ekkora, hiszen a kóma átmérője körülbelül 20 000 km lehetett, már pedig a napfény szóródása elsősorban nem a mag, hanem

a magot körülvevő kóma anyagán történik. Miután *Voroncov-Veljaminov* ezt is tekintetbe vette, arra a következtetésre jutott, hogy a mag átmérőjének még 20 km-nél is kisebbnek kellett lennie.

Még mindig kérdés volt azonban, hogy tulajdonképpen mennyi anyag van a magban. Ha ugyanis azt tételezzük fel, hogy a mag anyagának közepes sűrűsége a Föld közepes sűrűségével egyezik meg, akkor a mag tömegére mintegy 20 trillió grammot kapunk, ami a Föld tömegének 1/300 000 000-mod része. Bár csillagászati mértékkel mérve így is elenyésző tömeghez jutunk, ennek ellenére ez az érték is csak felső határnak tekinthető. Amennyiben ugyanis egy üstökös magja nem összefüggő szilárd tömegnek, hanem ritka meteorhalmaznak bizonyul, akkor a mag tömegének kisebbnek kell lennie.

Mi következik mindebből? Az, hogy a magot tulajdonképpen nem is látjuk! Ha ugyanis az üstökös fényességét a magról visszavert napfény adná, az üstökösöket csak akkor pillanthatnánk meg, amikor már egészen megközelítették a Földet.

Leszögezhetjük tehát, hogy a mag nem látható, csupán a belőle kiáramló kóma. Az a csillagszerű fényesebb rész, amelyet mi gyakran hajlandók vagyunk magnak tekinteni, nem más, mint az üstökösmagból kilépő részecskék centrális sűrűsödése. A magot kimondottan még egyetlen üstökösnél sem lehetett megfigyelni. Maga a kóma egyébként a szélei felé egyre jobban elhalványul.

Az üstökös feje általában igen nagy. A fej átmérőjének átlagos értéke 50 000 és 250 000 km között mozog. Vannak azonban olyan üstökösök is, amelyeknek a feje jóval nagyobb. Így például az 1908. III. üstökös fejének átmérője 300 000 km, az 1911. I. üstökös fejének az átmérője pedig kereken 1 millió km volt. Ez azt jelenti, hogy ennek az üstökösnek a feje majdnem olyan átmérőjű volt, mint amilyen a Nap.

*

Az üstökösmagok fejlődését különböző tényezők szabják meg. Tagadhatatlan, hogy ezt elsősorban a naphatások irányítják, hiszen a csóvaképződés, amely minden egyes perihélium átmenet (perihélium — napközel) alkalmával tetemes anyagmennyiségtől fosztja meg a magot, a Nap energiasugárzásának a következménye. A Napon kívül azonban egyéb tényezők is közrehatnak az üstökösmagok fejlődésében. Mindenekelőtt azzal foglalkozunk, hogy mi a következménye annak, hogy a bolygóközi térségben haladó üstökösök sűrűn ütköznek össze a kisebb-nagyobb meteortestekkel.

Az összeütközések és következményeik

A. D. Dubjago számítása szerint azok a meteortestek, amelyeknek közepes sebessége kb. 5 m/sec, szabad úthosszuk pedig 1—2 km körül mozog, mintegy 7 percenként összeütközhetnek egy másik meteortesttel. Az összeütközéseket tehát meglehetősen gyakori eseményeknek kell tartanunk a bomlás állapotában levő üstökösmagok meteortestjeinek világában.

Az összeütközési sebesség az esetek túlnyomó részében nem mondhatók túl nagynak. Ezért az összeütközések nem járnak feltétlenül minden esetben dezintegrációval, vagyis széteséssel. Ez a megállapítás egyébként elsősorban a nagyobb meteortestekre vonatkozik. Kisebb meteortesteknél azonban már másképpen alakul a helyzet. Ezek ugyanis érthetőleg könnyebben porlódhatnak, különösen pedig akkor, ha a velük összeütköző meteortestben az összeütközés során kioldódnak a napsugárzás hatására felhalmozódott termikus (a hősugarak elnyelésétől származó) feszültségek. A szóbanforgó feszültségek kioldódása következtében a kisebb meteortestek esetleg olyan nagy sebességre tehetnek szert, amely elegendő ahhoz, hogy a meteorhalmazt végkép elhagyhassák.

A mondottak után jogosan merül fel a kérdés, hogy elsősorban mi idézi elő az üstökösmagok széthullását? Több ilyen okot is felhozhatunk. Ezek közül először azzal foglalkozunk, amelyet a kutatók többsége a legfontosabbnak ítél.

Jelenleg szinte általánosan elfogadottnak mondható az a nézet, hogy az üstökösmagok széthullását elsősorban a bolygóközi térségben keringő meteortestekkel való összeütközések idézik elő.

Dubjago számítása szerint néhány ezredév leforgása alatt az üstökösmag anyaga még abban az esetben is szétszéled a pályája mentén, ha az ütközés pillanatában az üstökösmag és a meteortest sebességkülönbsége mindössze 5 m/sec nagyságrendű. Már pedig egészen biztosra vehető, hogy a sebességkülönbségek értéke ennél lényegesen nagyobb is lehet.

Óvakodnunk kell azonban a túlzott általánosításoktól. Ugyanis nem minden ütközés zajlik le azonos módon. Hiszen beszélhetünk rugalmatlan és rugalmas ütközésről egyaránt.

Abban az esetben, ha az ütközés rugalmatlan és az ütköző testek sebessége kicsi (10^1—10^2 cm/sec), összecementeződés következhet be.

Feltehető azonban, hogy az esetek túlnyomó részében rugalmas ütközésről és nagyobb ütközési sebességekről van szó. Ekkor viszont dezintegrációval, illetve porlódással számolhatunk.

Az üstökösök anyagának az eredeti üstököspálya mentén való teljes szétszóródásához természetesen idő szükséges. Az üstökös eredeti pályáját először nem töltik be egyenletesen az üstökösmag törmelékei. Egészen természetes, hogy az első időkben a perecalakra emlékeztető meteorraj sűrűsége ott lesz maximális, ahol a dezintegráció bekövetkezése előtti időben az üstökösmag haladt. Később azonban a Nap árapálykeltő hatása, valamint egyéb hatások következtében a sűrűség az egész pálya mentén nagyjából mindenhol egyforma lesz.

Nyilvánvaló azonban, hogy valójában az ütközések lezajlása nem olyan egyszerű, mint ahogy most előadtuk. Mi ugyanis akkor, amikor az ütközések mechanikai lefolyását tárgyaltuk, különböző egyszerűsítésekkel dolgoztunk. Ha a kérdést szigorúbban akarnók kezelni, akkor figyelembe kellene vennünk például azt is, hogy az ütközésben részt vevő részecskék bizonyos hányada minden valószínűség szerint elektromosan töltött állapotban van. Ebben a kérdésben azonban, sajnos, semmi érdemlegeset sem mondhatunk, tekintettel arra, hogy ilyen irányú kvantitatív vizsgálatokat eddig még senki sem végzett.

Kérdés azonban, hogy rendelkezünk-e konkrét megfigyelési eredményekkel az üstökösmagok széthullására vonatkozólag. Ezen a téren a *Biela* üstökös magjának széthullását hozhatjuk fel klasszikus példa gyanánt.

Tudnunk kell, hogy az 1826-ban felfedezett *Biela* üstökös periódusát 6,5 évben határozták meg a csillagászok. Az üstökös 1832-ben és 1839-ben valóban meg is jelent. 1846-ban azonban a megfigyelők nem kis meglepetésére a *Biela* üstökös helyén két objektumot pillantottak meg a csillagászok. Meglepő volt az is, hogy a két üstökös-komponens sajátságos módon változtatta a fényét: hol az egyik, hol pedig a másik komponens vált fényesebbé. A mérések és számítások révén kiderült, hogy a két komponens körülbelül 250 000 km távolságban halad egymástól. A számítások egyébként azzal az eredménnyel zárultak, hogy az üstökös kettéválása aránylag régebbi keletű. Mindez meglehetősen rejtélyesnek látszott.

A rejtélyt végül is *Hubbard* oldotta meg. Kiszámította mindkét üstökös komponens pályáját és azt az eredményt kapta, hogy az eredeti üstökös nem akkoriban vált ketté, amikor azt észrevették, hanem kereken egy évvel előbb.

Ez azonban egy újabb kérdést vetett fel. Kérdés volt ugyanis, hogy miért nem vették észre mindezt már régebben is a megfigyelők?

Erre a kérdésre ugyancsak *Hubbard* adott plauzibilisnak tűnő választ. Szerinte ugyanis a Földhöz közelebb levő üstökös-komponens úgy haladt a pályáján, hogy közben a másikat eltakarta.

1852-ben a két komponenst egymástól elválasztó távolság már 2 400 000 km-re növekedett. 1859-ben az üstökös újra perihéliumban tartózkodott. Ez alkalommal azonban az üstökös és a Nap egymástól való kis távolsága miatt nem

sikerült az üstökös megfigyelése. Ugyancsak sikertelenül végződtek 1866-ban is a megfigyelők ez irányú kísérletei. 1872-ben azonban érdekes fordulat következett be. Ebben az évben ugyanis az üstökösnek a számítások szerint földközelben kellett haladnia. Az üstökös azonban ez alkalommal sem volt megfigyelhető. Ugyanakkor azonban nagymennyiségű meteoranyag árasztotta el bolygónkat. Ugyanez történt az üstökös legközelebbi visszatérésének évében, vagyis 1885-ben is. Egészen nyilvánvaló tehát, hogy a *Biela* üstökös darabokra hullott.

Hasonló sorsra jutott az 1882. II. üstökös is. Ez az üstökös hat darabra hullott széjjel, amikor betört a napkorona térségébe és 0,5 millió km távolságra megközelítette a fotoszférát.

1889-ben a *Brooks* üstökös esett széjjel öt darabra. Az említett eseteken kívül azóta is több ízben megfigyelték egyes üstökösök szétesését. Így például szétesett az 1888. I., az 1889. V. és az 1899. I. üstökös is. Az üstökösökkutatók megállapítása szerint perihélium átmenet alkalmával az üstökösmag szétesésének valószínűsége 1 : 50.

Kétségtelennek tekinthető, hogy olyan üstökösök is akadnak, amelyek maguk is egy régebbi, nagyobbtömegű üstökös széthullása alkalmával jöttek létre. Ezzel kapcsolatban meg kell emlékeznünk *Sz. V. Orlov* és kutatótársainak ez irányú vizsgálatairól. Kiderült, hogy vannak olyan üstökösöcsaládok, melyeknek pályái egy közös pontban metszik egymást. Ezen az alapon feltehető, hogy valamikor ebben a pontban hullott szét a primer üstökös több kisebb, vagy ha úgy tetszik, szekunder üstökösre. Az így keletkezett üstökösök azután „önállósították" magukat. Ilyen üstökösöcsaládot képez például az 1860. I., az 1843. I., az 1880. I., az 1882. II. és az 1887. I. üstökös.

*

Eddig csak arról beszéltünk, hogy miképpen hull szét az üstökösmag a meteortestekkel való rugalmas ütközés következtében. Egészen másképpen megy azonban végbe az üstökösmag széthullása a perihélium átmenet időpontjában, illetve az azt közvetlenül megelőző és követő időpontokban. Ezzel a kérdéssel azonban nem foglalkozhatunk addig, amíg meg nem ismerjük *Whipple* üstökösmag-modelljét.

Whipple üstökösmag-modellje

A csillagászok között már régóta vita tárgyát képezi, hogy az aránylag laza meteorhalmaznak feltételezett üstökösmag ellenállhat-e hosszabb ideig a Nap árapálykeltő erejének? *J. H. Oort* nemrégiben rámutatott arra, hogy egy ilyen laza halmaz csillagászati időmértékkel mérve aránylag gyorsan átalakulna. Abban az esetben ugyanis, ha az üstökös magja laza lenne, a Nap árapálykeltő erejének hatására tovább bomlana és előbb-utóbb teljesen szétszóródna. Abban az esetben viszont, ha a maghoz tartozó meteortestek koncentráltságának foka bizonyos értéket elérne, ellenállhatna a Nap árapálykeltő erejének. Ebből következik, hogy az utóbbi esetben az egymáshoz közel mozgó meteortestek a köztük lezajló ütközések következtében végül is szinte egybekovácsolódnának.

Látjuk tehát, hogy az üstökösmagot nem kell szükségszerűen meteorhalmazszerű képződménynek tekintenünk. Ezzel a megállapítással kapcsolatban azonban egy újabb ellentmondás merül fel. Számos kisbolygót sorolhatnánk fel ugyanis, amelyek pályája nem sokban különbözik az üstökösök pályájától, sőt, tömegük sem igen múlja lényegesen felül az üstökösök átlagos tömegét. Ezzel szemben a kisbolygók mégsem fejlesztenek gázcsóvát, mint az üstökösök. Nyilvánvaló tehát, hogy a probléma nyitja a csóvaképződés fizikai feltételeinek tisztázásában rejlik. Feltehető egyébként az is, hogy a kétféle égitest szerkezete és kémiai összetétele alapvetően különbözik egymástól. Célszerű lesz tehát, ha kissé közelebbről megvizsgáljuk ezt a kérdést.

Tudjuk, hogy a meteoritok hevítés alkalmával gázokat bocsátanak ki magukból. Ugyanígy, hevítés hatására, gázok szabadulnak fel az üstökösök mag-

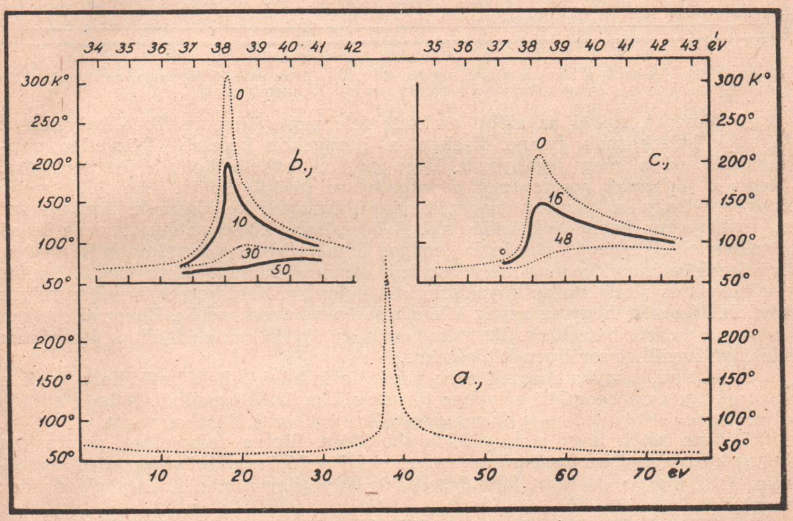
jából is. Már pedig az üstökösmagok jelentősen felmelegednek a perihélium átmenetek során. A nagyobb térfogatú testek hevítésük alkalmával gyakorlatilag csak a felszíni rétegeikből emittálnak gázanyagokat. Nyilvánvaló ugyanis, hogy a test belső része a külső rétegek szigetelő hatása folytán nem melegedhet fel olyan erős mértékben. Ez viszont újabb kérdést vet fel. Ilyen módon ugyanis érthetetlenné válik előttünk, hogy miképpen tud az üstökösmag csóvát fejleszteni, aránylag nagyszámú perihélium átmenet során.

A mondottak alapján beláthatjuk, hogy a régi üstökösmagmodellek egyaránt zsákutcába vezetnek. Az előbbiek során ugyanis már említettük, hogy az üstökösmagot nem tekinthetjük meteortestek aránylag laza halmazának. Most viszont arra mutattunk rá, hogy az üstökösmagot monolit (vagyis egy tömbből álló) képződménynek sem tekinthetjük, mert ebben az esetben nem tudnánk értelmezni a többszöri csóvaképződést.

Ezekből a nehézségekből *F. L. Whipple* nemrégiben felállított jégmag-modellje mutat kiutat.

Whipple elképzelése szerint a mag jégbe ágyazott meteortestekből áll. A jég akkor cementezi össze a szóbanforgó meteortesteket, amikor az üstökös még távol van a Naptól, vagyis alacsony hőmérsékletű térben mozog. *Whipple* szerint nem csak a víz, hanem egyéb gázanyagok jege is szóbajöhet.

Minnaert számításokat végzett arra vonatkozólag, hogy mekkora az üstökösök magjának felszíni hőmérséklete a pálya afélium pontjában.



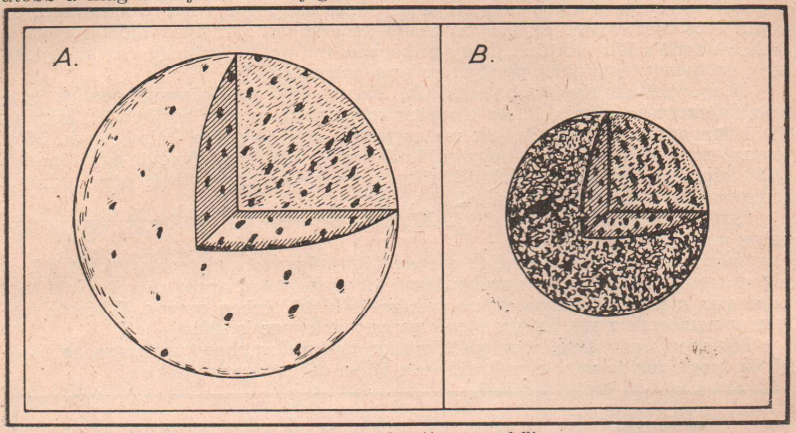
19. ábra. Nagyméretű (átmérő = 1 km) kő-meteortest hőmérsékletalakulása egy keringési periódus folyamán, abban az esetben, ha ez a test a Halley üstökös pályáján mozog (perihéliumtávolsága = 0,59 AE, keringési ideje = 76 év)

a) Felszíni hőmérséklet. *b)* A mélyebb rétegeket jellemző hőmérsékleti értékek a perihéliumátmenet körüli időszakban. *c)* Ugyanaz, mint az előbbi, azzal a különbséggel, hogy a hőmérsékleti adatok vasmeteorit testre vonatkoznak (*N. B. Richter* szerint)

Megjegyzés: AE = Csillagászati Egység = Föld—Nap távolság = 149,5 millió km

Tudjuk, hogy a Nap felé közeledő üstökös hőmérséklete egyre magasabbá és magasabbá válik. (19. sz. ábra.) Ennek következtében a meteortesteket összecementező jég párologni kezd, s több helyen felszínre kerül az üstökösmag meteortestekből álló szilárd anyaga. (20. sz. ábra.) Ez az anyag egy ideig a szi-

getelő szerepét tölti be és megakadályozza, hogy a közvetlen napsugárzás hatására a mag belsejében levő jég is elpárologjon. A napsugarak azonban előbb-utóbb a mag belsejében levő jeget is elérik. A mag ugyanis nem képez össze-



20. ábra. Az üstökös jégmag-modellje
A) Az üstökös jégmagja a Naphoz való közeledés előtt. *B)* Olyan üstökös jégmagja, amely már többször áthaladt a perihéliumon (*B. J. Levin* szerint)

függő tömeget, mivel az előbb említett felolvadás következtében helyenként hézagok keletkeznek benne. Ezeken a hézagokon keresztül közvetlen napsugárzás éri a mag jéganyagát. Ilyen módon érthető, hogy a jég párolgása, illetve a jégbezárt porszemcsék kiszabadulása tovább folyik. Ez előbb-utóbb odavezet, hogy a magban nagyobbméretű hézagok keletkeznek, ami viszont egyes helyeken beomlásokat idéz elő. A beomlások következtében a mag külső részében elhelyezkedő és aránylag magas hőmérsékletű kőzettömbök közvetlen érintkezésbe jutnak a mag mélyében levő alacsony hőmérsékletű jéggel. Emiatt a párolgás és általában az anyagáramlás lényegesen felfokozott ütemben folyik tovább. Megesik, hogy az anyag kilövellése igen hevessé válik. Ebben az esetben már kitörésekről beszélünk. Természetes, hogy elsősorban perihélium átmenetek idejében kerülhet sor ilyen kitörésekre.

Előfordul, hogy a magból több sugár is indul ki. Feltehető, hogy ezek a sugarak az egyes beomlási helyeken törnek elő az üstökösmagból. Néha a kitörés olyan heves lefolyású, hogy a mag darabokra való szakadásához vezet.

Látjuk tehát, hogy a mag feldarabolódása, illetve felbomlása nemcsak a bolygóközi térségben keringő meteortestekkel való összeütközések következménye lehet, mert a fokozott felmelegedés is lényegileg a mag feldarabolódásához vezet.

A *Whipple*-féle üstökösmag-modell elfogadása nem jelenti szükségszerűen azt, hogy érvénytelen mindaz, amit az eddigiek folyamán a meteortestek laza halmazának tekinthető és felbomlásban levő üstökösmagok stabilitásával, illetve további felbomlásával kapcsolatban mondtunk. A *Whipple*-féle modell ugyanis csak egy kiindulási alapot jelent. Láttuk azonban, hogy maga *Whipple* is leírja, hogy a magban különböző beomlások támadnak, ami végül is a mag felbomlásához vezet, a szó mechanikai értelmében.

Kérdés, hogy *Whipple* elmélete vajon összeegyeztethető-e a megfigyelésekkel és a számítási eredményekkel? A tudomány mai álláspontján nyugodtan állíthatjuk, hogy igen. Az idevonatkozó legfontosabb eredményeket röviden a következőkben foglalhatjuk össze.

A kérdés tisztázása megnyugtató módon csak úgy végezhető el, ha megnézzük, hogy a különböző üstökösmag-modellek alapján milyen eredmények adódnak a gázok eltávozására, vagyis a *deszorbcióra* vonatkozólag. Nyilvánvaló ugyanis, hogy a különböző anyagok *adszorbeáló* és *okkludáló*, tehát következésképpen *deszorbeáló* képessége is más és más. Már pedig elsősorban a deszorbció mértétől függ az üstököscsóvák fényessége. Az elmélet tehát könnyen ellenőrizhető, ha összehasonlítjuk egymással a meteormodell és a jégmag-modell alapján adódó deszorbció- és fényességértékeket.

Mind ez ideig még nem sikerült az üstökösök csóvájának molekulasűrűségét direkt úton meghatározni. A feladat azonban nem megoldhatatlan, mert az üstököscsóvákról készített monokromatikus színképfelvételek alapján elég jó megközelítéssel meghatározhatók a parciális sűrűségi értékek, vagyis a különböző gázanyagok molekula/cm^3-ben kifejezett sűrűsége.

N. B. Richter szerint az üstökösök átlagos tömegét kb. 10^{18} g-nak vehetjük. Kérdés, hogy mekkora egy ilyen átlagos tömegű üstökös gázkészlete?

A csillagászok megállapították, hogy az átlagos tömegű üstökösök gázkészlete mintegy 10^{37} molekulára tehető.

Azonnal megállapíthatjuk, hogy az így kapott érték meglehetősen kicsi ahhoz, hogy ilyen módon az üstökösök fényességét és főleg a csóvák élettartamát megmagyarázhassuk. *Wurm* adata szerint 10^{35}—10^{36} molekula szükséges ahhoz, hogy az üstököscsóvák fényességét értelmezni tudjuk. Tudnunk kell azonban, hogy egy-egy molekula még egy napnál is rövidebb ideig tartózkodik a csóva térségében. Ezek szerint az üstökösök legfeljebb néhány hétig világíthatnának. Ugyanakkor viszont tudjuk, hogy például a *Halley* üstökös a perihélium átmenetet megelőző és követő időben nem hetekig, hanem hónapokig látható. Nem szabad azonban arról sem megfeledkeznünk, hogy az üstökösök számos alkalommal visszatérnek a Nap közelébe és ilyenkor újra és újra tekintélyes gázmennyiséget veszítenek. Leszögezhetjük tehát, hogy a meteor-modell figyelembevételével nem jutunk kielégítő eredményhez.

Egészen másképpen alakul azonban a helyzet, ha *Whipple* jégmag-modellje vesszük kiindulási alapul. Tudnunk kell ugyanis, hogy egy gramm jég 10^{22}—10^{23} molekulát szállíthat a hevítés folytán bekövetkezett párolgás során. Mivel a meteoranyag grammonként csak 10^{19} gázmolekulát deszorbeálhat, nyilvánvaló, hogy a jég deszorbciója 3—4 nagyságrenddel múlja felül a meteorokét.

A mondottak alapján tehát leszögezhető, hogy a *Whipple*-féle jégmag-modell alapján az üstökösök deszorbcióját és fényességét sokkal jobban és könnyebben értelmezhetjük, mint a meteor-modell alapján. Nyilvánvaló tehát, hogy jelenleg a *Whipple*-féle modellt tarthatjuk a legelfogadhatóbbnak.

Az üstökösmag rotációja

Az eddigiek során figyelmen kívül hagytuk, hogy az üstökösmagok tengelyforgást végezhetnek. Mielőtt azonban az üstökösmagok rotációjára és annak következményeire rátérnénk, előzőleg néhány szóval a kérdés előzményeivel kell foglalkoznunk.

Az utóbbi évek során néhány üstökös mozgásában olyan szabálytalanságokat észleltek, amelyekből szükségszerűen azt a következtetést kellett levonni, hogy ezeket a szabálytalanságokat az üstökösök magjában végbemenő, egyelőre ismeretlen fizikai jelenségek idézik elő.

Kimutatták például, hogy az *Encke* üstökös keringési ideje csökken, ami nem jelent mást, mint azt, hogy a keringési sebessége növekszik, pályájának excentricitása pedig csökken. Később azután az is kiderült, hogy az üstökös keringési idejének változása nem egy irányú. A keringési idő ugyanis eleinte észrevehető módon rövidült (mégpedig körülbelül 3 órával évenként), később viszont újra növekedni kezdett.

Több kutató arra gondolt, hogy az említett jelenséget az állatövi fény közegellenállása idézi elő. Igaz, hogy a közegellenállás valóban fékezőleg hat az üstökösökre és emiatt pályaátmérőjük csökken, vagyis közelebb kerülnek a Naphoz. Ne felejtsük azonban el, hogy *Kepler* III. törvénye értelmében a Naphoz közelebb levő égitestek gyorsabban haladnak pályájukon, mint a tőle távolabb levők. Ilyen módon az a paradox eset áll elő végül is, hogy a közegellenállás következtében a mozgásában lefékezett üstökös nagyobb sebességgel halad pályáján, mint azelőtt.

Ez a magyarázat azonban nem bizonyult helytállónak minden esetben. Akadtak ugyanis olyan üstökösök, amelyeknek a pályaelemei éppen ellenkező értelemben változtak meg.

Ekkor két kiváló üstököskutató, *Dubjago*, illetve *Whipple* felelevenítették *Bessel* egyik régi megállapítását. *Bessel* ugyanis már 1836-ban kijelentette, hogy az üstökösök pályaelemei minden külső behatás nélkül is megváltozhatnak abban az esetben, ha az üstökös magjából előtörő anyagrészecskék útja aszimmetrikus a rádiusz vektorhoz viszonyítva. *Dubjago* és *Whipple* kimutatták, hogy a *Bessel* által említett aszimmetria valóban fennállhat abban az esetben, ha az üstökös keringés közben egyszersmind rotációs mozgást is végez. Ennek megértése végett vegyünk egy analóg példát a Földről.

A Földön nem akkor van a legmelegebb, amikor a Nap a legmagasabban jár a láthatár felett, hanem később. Ennek az az oka, hogy bár a Nap horizontfeletti magassága csökken, a talaj egy ideig még több hőt vesz fel, mint amennyit lead, tehát a felmelegedés tovább tart.

Ha ezt a megállapítást a tengelyforgást végző üstökösre vonatkoztatjuk, arra a következtetésre jutunk, hogy az üstökös tetszőleges pontjának felmelegedése és az ezzel együttjáró gáztermelés nem akkor éri el maximális értékét, amikor a Nap a megnevezett pont felett delel, hanem akkor, amikor a Nap a delelési ponton már túljutott. Másrészt nyilván két eset lehetséges, éspedig: a keringési irány és a tengelyforgás iránya egymással megegyező, illetve egymással ellenkező.

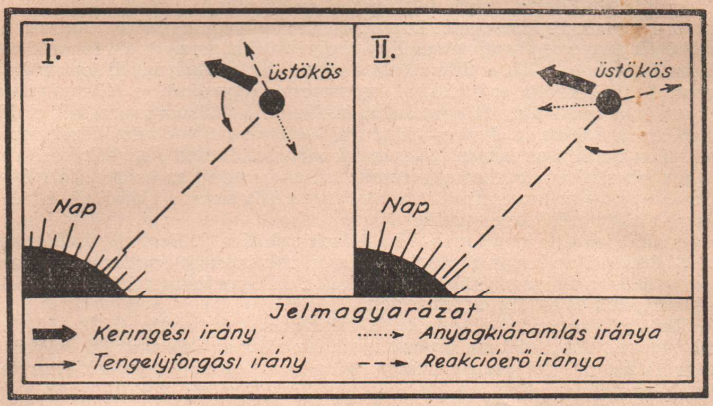
Vizsgáljuk meg egyenként mindkét esetet és azok következményét.

Abban az esetben, ha a keringési irány és a tengelyforgás iránya megegyezik, az anyagkiáramlás az üstökös haladásával ellentétes irányú lesz. Ez természetes, hiszen a Nap által megvilágított felszín közben továbbfordul és az üstökös szóbanforgó pontjára már kisebb szögben süt a Nap, mire az erősebb gázkiválasztás megindul. Tudjuk azonban, hogy minden anyagkiáramlás reakcióerőt hív életre, amely ellenkező irányba löki az égitestet. A 21. sz. ábrán láthatjuk, hogy az anyagkiáramlás reakcióereje a magot előrehajtja, ekkor tehát növekedni fog az üstökös pályaátmérője és excentricitása is. Ugyanakkor azonban *Kepler* III. törvénye értelmében a pályamenti sebesség értékének csökkennie kell. Ez az eset fordult elő a *D'Arrest* üstökössel.

A második lehetőségre a már említett *Encke* üstökös szolgáltatott példát. Az *Encke* üstökös mozgásában észlelt szabálytalanságot a retrográd irányú tengelyforgással lehet megmagyarázni. Ha feltesszük, hogy az *Encke* üstökös tengelyforgása a keringési iránnyal ellentétes, akkor nyilván az anyagkiáramlás nagyjából egybeesik a keringési iránnyal. (20. sz. ábra.) A fellépő reakcióerő a magot ez esetben a közegellenálláshoz hasonlóan visszatartja pályáján. Mindennek az a természetes következménye, hogy a mozgásában lefékezett üstökös pályaátmérője és excentricitása csökkenni fog, de ugyanakkor a sebessége fokozódik.

Az eddig mondottakból önként adódik az a gondolat, hogy az üstökös sebességváltozásának értékéből következtetni lehet az anyagkiáramlás mérvére. *Whipple* ezen az alapon több üstököst vett vizsgálat alá. Kiszámította például, hogy egy keringés folyamán az *Encke* üstökös tömegének a 0,2%-át, a *D'Arrest* és a *Wolf* üstökös pedig tömegük 0,5, illetve 0,02%-át veszítik el. A három üstö-

kös közül tehát a *D'Arrest* anyagvesztesége a legnagyobb, bár még ez a veszteség is aránylag kicsinek mondható. Ilyen módon tehát érthető, hogy az üstökösök számos keringést végezhetnek addig, amíg anyagukat teljesen elveszítik.



21. ábra. A Bessel-féle effektus:
I. A keringési és a tengelyforgási irány egyezik egymással. II. A keringés és a tengelyforgás irányai ellentétesek

Ma még nem tudjuk teljes bizonyossággal, hogy a most ismertetett mechanizmus minden üstökösmagra vonatkoztatható-e, vagy sem? Említésre méltó azonban, hogy *Salah El-Din Hamid* és *F. L. Whipple* egyik 1953-ban megjelent közös publikációjukban beszámoltak a kérdéssel kapcsolatban végzett kutatásaikról. Az említett kutatók 64 hosszúperiódusú üstökössel kapcsolatban végzett kutatásaik eredményeit részletezték. Megemlítik többek között, hogy ezt az effektust mind a 64 üstökös esetében sikerült észlelniök. Azonban maguk a kutatók elismerik, hogy a mérési hibahatárok meglehetősen „tágak" voltak. Ezért a szóbanforgó probléma jelenleg még nem tekinthető megnyugtató módon megoldottnak. A jövőben mindenesetre a rövidperiódusú üstökösökre is ki kell terjeszteni ezeket a kutatásokat.

Az üstökösök, mint a naptevékenység indikátorai

Az üstökösmagban végbemenő fizikai folyamatok ismertetésével kapcsolatban feltétlenül ki kell térnünk egy igen érdekes és jórészt még nem eléggé tisztázott jelenségre.

Számos alkalommal megfigyelték már, hogy egyes üstökösök fényessége rövid idő leforgása alatt (napokon, sőt órákon belül) tetemes mértékben megnövekszik. Előfordult már például, hogy az üstökös fényessége százszorosan is megnövekedett. Számos példát sorolhatnánk fel annak bizonyítására, hogy egyes üstökösök fényességingadozásában bizonyos periodicitás mutatkozik.

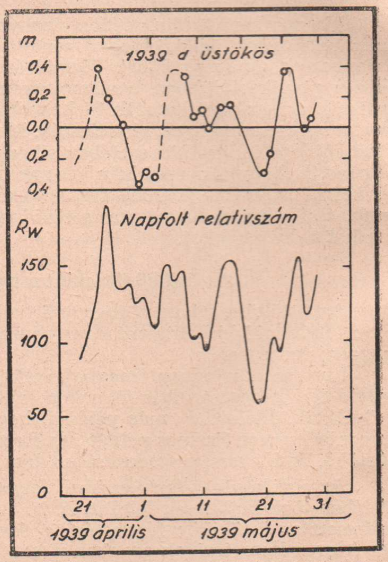
Az üstökösök jelentősmérvű fényességingadozása már a múlt század első felében több kutatónak feltűnt. *A. N. Capocci* például már 1826-ban összefüggést keresett az üstökösök fényességingadozása és a napfoltciklusok között. *Capocci* ez irányú kutatásainak azonban hosszú ideig nem akadt folytatója. Csak 85 évvel később, 1811-ben vette fel újra az elejtett szálat *J. Bosler*, aki az *Encke* üstökös fényességingadozásában igyekezett kimutatni a 11,2 éves periódussal jellemzett napfoltciklusok jelentkezését. *Bosler* munkásságát nem sok eredmény kísérte. Ez azonban érthető, ha figyelembe vesszük egyrészt azt, hogy abban az

időben az üstökösök fotometriai vizsgálata kezdeti stádiumban volt, másrészt pedig azért, mert abban az időben napfizikai ismereteink még meglehetősen hézagosak voltak.

Megújult lendülettel folytatták tovább az ez irányú kutatásokat 1929-ben. Ebben az évben *H. B. Maris* és *E. D. Hulbert* arra a megállapításra jutottak, hogy az üstökösök fényességingadozása a Nap ibolyántúli sugárzásának fokozódásával van összefüggésben. A két említett kutató egyébként az ibolyántúli sepktráltartományban bekövetkezett erupciókkal igyekezett magyarázni a földmágnességi zavarokat és a sarki fény fellángolásait is. Hasonló álláspontot foglalt el 1937-ben *Richter* is. *Richter a Jurlov—Ahmarov—Hassel* (1939 d) üstökös gyors fellángolásait, valamint az ionoszféra-zavarok menetét ábrázoló görbék között mutatott ki több esetben érdekes egyezéseket. *Richter* mind az üstökösök fellángolását, mind pedig az ionoszféra zavarokat egy közös okra: a Nap ibolyántúli sugárzásának a fokozódására vezette vissza.

Új utakat jelöltek ki a további kutatások számára *P. Bernard* és *Biermann*, akik 1947-ben a Nap korpuszkuláris sugárzásának intenzitásváltozásában keresték az üstökösök fényességváltozásának okát. Elképzelésüket később mások is magukévá tették és tovább fejlesztették.

M. Beyer 1950-ben publikálta több, mint másfél évtizeden (1932—1948) keresztül végzett vizsgálatainak eredményeit. Ez alatt az idő alatt 37 üstökös fényességváltozásának fotometriai vizsgálatát végezte el nagy gonddal. Kimutatta, hogy számos üstökös esetében jól felismerhető egyezések mutatkoznak a napfoltrelatívszámok *(Rw)* változását és az üstökösök fényességingadozását feltüntető görbék menetében. *Beyer* a nagyobb napfoltok térségét zavarcentrumoknak nevezte. Érdekes és figyelemre méltó, hogy *Beyernek* sikerült kimutatnia az üstökösök fényességingadozásának a heliocentrikus helyzettől való függését. Amikor ugyanis az üstökös megközelítőleg a Nap egyenlítőjével szemben helyezkedett el, fényességingadozása nagyobbmérvű volt. Olyankor azonban, amikor a vizsgált üstökös magasabb heliografikus szélességekkel került szembe, a fényességingadozás mérve csökkent. *Beyer* ennek okát abban látta, hogy magasabb naprajzi szélességek felé haladva a zavarcentrumok száma és mérete csökken. Különösen az 1939 d. üstökös esetében sikerült igen meggyőzően kimutatnia a napfolt-relatívszámok és az üstökös szekunder fényességingadozásai közötti összefüggést. (22. sz. ábra.)



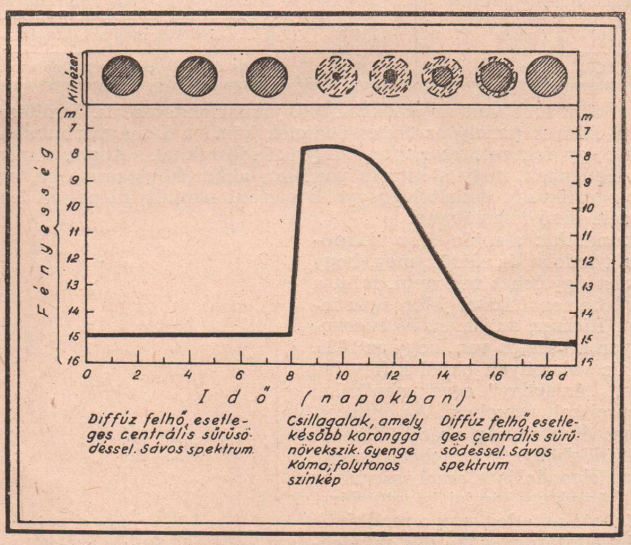
22. ábra. A Jurlov—Achmarov—Hassel (1939 d.) üstökös fényessége és az üstökössel szemben levő napfelszínt jellemző napfolt-relatívszámok értékalakulásának görbéje 1939 április—májusában (*M. Beyer* szerint)

A „szekunder" szóval kapcsolatban egyébként egy rövid megjegyzést kell tennünk. Az üstökösök primer és szekunder fényességváltozását élesen el kell különítenünk egymástól. A primer fényességváltozás periódusának időtartama a keringési időtartammal adható meg. Ha több perióduson keresztül mérjük egy adott üstökös fényességét és a mérési adatokat grafikusan rögzítjük, akkor nagyjából egy szinuszgörbéhez hasonlítható hullámvonalat kapunk. Nem szorul különösebb indokolásra,

hogy ennek a görbének a hullámhegyei a perihélium körüli időre esnek. Erre a görbére transzponálódik azután egy másik, sok esetben meglehetősen nagy amplitudóval jellemzett görbe, amely az üstökösnek a naptevékenység intenzitásváltozását tükröző szekunder fényességingadozását ábrázolja.

Most pedig rátérünk a *Schwassmann—Wachmann* 1925. II. üstökös fényességváltozásának kérdésére. Ezzel az üstökössel azért kell külön foglalkoznunk, mert fényességváltozásának amplitudója messze kimagaslik az összes hasonló eset közül.

Ezt az üstököst *Schwassmann* és *Wachmann* fedezte fel. Tudnunk kell róla, hogy majdnem kör alakú pályán halad a Jupiter és a Szaturnusz között. Keringési ideje 16,41 év. Perihéliumban 5,51, aféliumban pedig 7,43 csillagászati egységnyi távolságban van a Naptól. Tekintettel arra, hogy az üstökösök perihéliumi és aféliumi távolságai közötti különbség aránylag kicsinek mondható, ezért érthető, hogy primer fényességváltozásának értéke mindössze $1^m,3$ körül mozog. Egy csillagászati év leforgása alatt legfeljebb $0^m,5$-re tehető a primer fényességváltozás értéke. Mivel egyrészt az üstökös átlagos fényessége 18—19^m között van, másrészt pedig megközelítőleg kör alakú pályán halad (tehát nem távozik el nagyobb távolságra a Naptól), ezért ezt az égitestet nagyobb teljesítőképességű távcsövekkel minden évben észlelni lehet. Az üstökös általában halvány, diffuz ködfoltnak látszik. Időnként azonban fényessége rövid idő alatt jelentékenyen megnövekszik. Ilyenkor fényessége elérheti a 13—14^m értéket, ami azt jelenti, hogy az üstökös fényességnövekedése mintegy százszoros nagyságrendű. De nemcsak az üstökös fényessége növekszik meg ilyenkor, hanem a külső kinézete is megváltozik. Kómáján belül ugyanis meglehetősen erősfényű csillagszerű pont jelenik meg (lásd a 23. ábrát). Ez a csillagszerű, erősfényű pont ké-



23. ábra. A fotometriai fényességgörbe menete és az üstökösfej külső kinézetének alakulása egy kitörés előtt, alatt és után (*N. B. Richter* szerint)

sőbb azután megnövekszik, mintegy „kitágul", ezzel egyidejűleg azonban fényessége csökken. Végül az üstökös felveszi újra „normális" alakját. Mindez néhány nap leforgása alatt megy végbe.

Érthető, hogy az 1925. II. üstökös különös és nagymérvű fényességváltozása világszerte felkeltette a csillagászok érdeklődését. 1939 és 1950 között 244, részben fotográfiai, részben pedig vizuális észlelést végeztek a különböző obszervatóriumokban az üstökös fényességingadozásával kapcsolatban. Néhány érdekesebb észlelési eredményt a táblázatban mutatunk be.

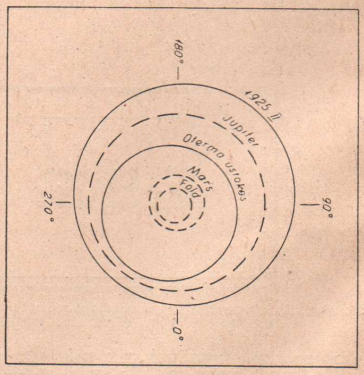
Ha a táblázatot tanulmányozzuk, észrevehetjük, hogy 1941. szeptember 15,14 (világidőben) és szeptember 15,93 között éles caesura jelentkezik az üstökös fényességében. Hiszen láthatjuk, hogy egy nap leforgásán belül több, mint két magnitudóval növekedett az üstökös fényessége.

Az 1925. II. üstökös fényességváltozása 1941. szeptember 14-18-a között

A megfigyelés időpontja (világidőben)	Megfigyelő	Összfényesség (fotográfiai)	Megjegyzések
Szept. 14,09	*Bobone*	$14^m,8$	Diffuz ködfolt mag nélkül
Szept. 15,06	*Bobone*	$15^m,6$	Diffuz ködfolt mag nélkül
Szept. 15,14	*Thomas*	$15^m,0$	Diffuz ködfolt
Szept. 15,93	*Gliese*	$12^m,7$	Fényes, csillagszerű mag, gyenge fényű kóma
Szept. 16,07	*Bobone*	$12^m,7$	Az üstökös csillagszerű képet öltött
Szept. 16,90	*Hoffmeister*	$12^m,1$	Csillagszerű mag, elmosódó kómával
Szept. 17,10	*Bobone*	$11^m,8$	Az üstökös magja csillagszerű
Szept. 18,14	*Thomas*	$11^m,0$	Az üstökös csillagszerűnek mutatkozik

Ugyancsak erős volt az üstökös 1946. januári kitörése is. Említésre méltó, hogy ez a kitörés (amely az összes eddigiek közül a legnagyobb szabású volt), egybeesett egy fokozottabb naptevékenységi időszakkal. Aligha minősíthetjük puszta véletlennek, hogy a kitörés pontosan akkor következett be, amikor az eddig fotografikusan észlelt legnagyobb méretű napfolt átlépett a Napnak az üstökös felé néző félgömbjére.

A mondottak alapján több kutatóban az a gondolat érlelődött meg, hogy az üstököst úgy lehet tekinteni, mint a Napon végbemenő fizikai jelenségek indikátorát, *Richter*, az ismert üstökös-kutató is azon a nézeten van, hogy az 1925. II. üstökös valamilyen okból kifolyólag különösen „érzékeny" egyes napfizikai processzusokkal szemben. Az említett különleges érzékenység okát különböző kutatók különböző tényezőkben keresik. Van olyan elgondolás is, amely szerint az üstökös különleges kémiai összetételével magyarázhatók esetleg ezek a rendkívüli fényességváltozások. A kérdés mindenesetre meglehetősen problematikus. Felmerült az is, hogy az üstökös nagyfokú „érzékenységét" az is előidézheti, hogy pályája az ekliptika síkjával mindössze 9°,5 szöget zár be. Ennek az elgon-



24. ábra: Az 1925 II. és az Oterma üstökösök pályája

dolásnak a helyessége azonban erősen vitatható. Megemlíthetjük ugyanis, hogy az 1943 a. *(Oterma)* üstökös is ugyancsak körszerű pályán halad a Mars és a Jupiter között (tehát a kisbolygók övezetében) és ebből következőleg a Naptól való távolsága jelentékenyen kisebb, mint az 1925. II. üstökösé. (24. sz. ábra.) Hozzáfűzzük ehhez még azt is, hogy amíg az 1925. II. üstökös pályája 9°,5, addig az *Oterma* üstökös pályája csak 4° szöget zár be az ekliptika síkjával. A mondottakból kifolyólag tehát az *Oterma* üstökösnek még érzékenyebben kellene reagálnia a Napon végbemenő fizikai folyamatokra. Az *Oterma* üstökös fényességingadozásában azonban semmiféle rendellenesség nem mutatkozik.

Mindezek alapján leszögezhetjük, hogy a probléma meglehetősen bonyolultnak igérkezik. Ezen a téren tehát még sok a kutatnivaló.

Említésre méltó, hogy az 1925. II. üstököshöz hasonló erős fényességváltozást más üstökösökkel kapcsolatban is sikerült már észlelni. Így például a *Pons—Brooks* 1884. I. üstökös fényessége is időnként jelentős mértékben növekszik. Ezt az üstököst 1812-ben *Pons* fedezte fel. Meglehetősen elnyújtott ellipszis alakú pályán halad. Keringési ideje 71 év. Eddig két esetben észlelték az üstökös fényességének gyorsan végbemenő és nagymérvű változását. Az első ilyen észlelést 1884-ben, a másodikat pedig 1953—1954-ben végezték. Az utóbb említett fényességváltozás értéke a sonnebergi obszervatóriumban végzett fotometriai vizsgálatok eredménye alapján egy napon belül 3^m volt.

Ebben a kérdésben ma még semmi véglegeset nem mondhatunk. Igen kedvező lenne azonban számunkra, ha sikerülne megnyugtató módon igazolni egyes napfizikai folyamatok és az üstökösök szekunder fényességváltozásai közötti összefüggést. Ebben az esetben ugyanis számos geofizikai jelenség (geomágneses zavarok, sarki fény, ionoszféra zavarok stb.) kutatása terén is jelentős segítséget kaphatnánk. Megjegyezzük egyébként, hogy a geofizikai vizsgálatok alátámasztása csak azon üstökösök vizsgálatától várható, amelyeknek pályája kis szöget zár be az ekliptika síkjával. Az 1925. II. üstökös például alkalmas lenne erre a célra (említettük, hogy a pályája 9°,5 szöget zár be az ekliptikával), de ugyanakkor az utóbb említett *Pons—Brooks* 1884. I. üstökös már nem jöhetne tekintetbe. Ennek az üstökösnek a pályája ugyanis 74° szöget zár be az ekliptikával.

Említésre méltó, hogy a nagy fényességingadozással jellemzett üstökösök kutatásával kapcsolatban *Richter* nemrégiben érdekes megjegyzést tett.

Richter abból indult ki, hogy 1880—1930 között körülbelül 20 esetben történt úgynevezett bizonytalan felfedezés. Előfordult ugyanis, hogy a csillagászok felfedeztek egy-egy üstököst, amelyet később elvesztettek a szemük elől, mielőtt pályaelemeiket sikerült volna kiszámolniok. *Richter* azon a véleményen van, hogy ilyenkor a csillagászok egy-egy ilyen fellángoló üstököst figyeltek meg. Ami az elvesztésüket illeti, szerinte azzal magyarázható, hogy az ilyen üstökösök fényessége a fellángolás maximumát követő időben majdnem éppen olyan gyorsan csökkent, mint amilyen gyorsan növekedett a fellángolás időpontjában.

*

Az üstökösök fizikai tulajdonságainak kutatása napjainkban is egyre fokozódó lendülettel folyik. Különösen azóta kapcsolódtak bele sokan ezekbe a kutatásokba, amióta kiderült, hogy az üstökösök kutatása révén jelentős eredményeket várhatunk napfizikai ismereteink gyarapodása terén is. Jelen cikkben csak néhány problémát vetettünk fel a sok közül. Számos problémára (az üstökösök csóvája, a színképvizsgálatok eredményei, az üstökösök és a kisbolygók kapcsolatai, az üstökösök kozmogóniája stb.) azonban helyszűke miatt nem térhettünk ki. A jelen cikkben nem méltatott problémák ismertetésére egy későbbi számunkban térünk vissza.

SZIMÁN OSZKÁR

EDMUND HALLEY

(1656—1742)

1956. november 8-án volt háromszáz éve, hogy a London melletti Haggerstonban született *Edmund Halley, Newton* és *Herschel* mellett a XVIII. sz. legnagyobb csillagásza. Atyja gazdag szappanfőző volt, egyik tagja a feltörekvő angol polgárságnak, mely a nagy forradalomban elsöpörte a *Stuart*ok önkényét és megalapozta Anglia ipari és tengeri hatalmát. A fiatal *Halley*t, kinek matematikai érzéke már korán megnyilatkozott, apja a híres oxfordi kollégiumban taníttatta. Itt a görög, héber és arab nyelvek mellett annyira megszerette a csillagászatot, hogy húsz éves korában *Flamsteed*del napfolt megfigyeléseket tett közzé. Nyelvtudását később *Ptolemaios* csillagkatalógusának modern kiadásánál értékesítette.

Ebben az időben a csillagászok érdeklődése a bolygómozgáson túl már az állócsillagok felé is kezdett irányulni. Erre az ösztönzést néhány új csillag feltűnése adta; továbbá a déli tengereken végzett felfedező utazások feltárták a déli csillagos ég Európában addig ismeretlen gazdagságát. Tengerészeti és csillagászati okokból egyaránt fontossá lett a déli csillagos ég pontos feltérképezése. A munkára a fiatal *Halley* vállalkozott. Munkáját *II. Károly* király és a Brit Kelet-Indiai Társaság támogatta.

1676 novemberében, az egyenlítőtől délre 16 fok alatt, a javasolt Brazília vagy Fokföld helyett a brit tulajdonban fekvő Szent Ilona szigetére utazott, hogy az Almagestet és *Tycho de Brache* csillagkatalógusait a déli égre is kiterjessze. *Halley* verőfényes déli eget várt, de a szigeten kiderült, hogy a tengerből felszálló párák, az állandó köd és felhők még kedvezőtlenebbé tették a megfigyeléseket, mint otthon Angliában. A kedvezőtlen időjárás és a sziget meg nem értő adminisztratív vezetőivel való két évi küszködés után csalódottan hagyta ott Szent Ilonát, de mégis magával hozta a déli ég 350 csillagának első katalógusát, melyet *Catalogus stellarum Australium* címen tett közzé. E katalógusban királya emlékét azzal örökítette meg, hogy egy csillagképet Robus Carolinak, azaz *Károly* tölgyfájának nevezett el, utalva arra a tölgyfára, melynek odújában *Károly Cromwell* csapatai elől menedéket keresett.

A déli ég katalógusa oly becsületet szerzett a 22 éves tudósnak, hogy a Royal Society tagjává választotta és Danzigba küldte, hogy döntsön, egy a csillagászati szögmérés kérdésében felmerült vitában. Arról volt szó, hogy a kötekedő természetű *Hook*, megtámadta az érdemdús danzigi csillagászt: *Hevélius*t, aki csillagászati szögméréseit, távcső nélkül, pusztán diopterrel végezte. A fonalkeresztes távcsövet *Auzout* és *Picard* francia fizikusok alkalmazták először 1667-ben. *Hevélius* azonban idegenkedett ettől a műszertől, méréseit továbbra is szabad szemmel, diopterrel végezte. *Halley*nek kellett a két módszer közül a jobbat kiválasztani. Majd fél évig Danzigban közösen végzett megfigyelések alapján *Halley* kijelentette, hogy *Hevélius* szabad szemmel végzett megfigyelései teljesen egyenértékűek *Hook* távcsöves megfigyeléseivel. Ebből láthatjuk, milyen gyarló minőségűek voltak a korabeli távcsövek.

Halley már kora gyermeksége óta lelkes érdeklődést mutatott a földi mágnesség problémái iránt. E tárgyú értekezései ráirányították a kormány figyelmét és 1698-ban megbízatást kapott egy déli tengerekre küldött expedíció vezetésére. A földmágneses jelenségek ismerete a hajózás biztonsága érdekében döntő jelentőségű volt és a tengerészeti hatóságok siettek a kitűnő szakember képességeit ezen a téren értékesíteni. Matrózlázadások, a legénységben feltörő járványok ellenére *Halley* a Zöldfoki- és Kanári-szigetek meglátogatása után végigvizsgálta Afrika és Dél-Amerika partjait és egészen a déli 52. szélességi

fokig hatolt, ahol a déli sarkvidékről levált nagy jégtömbök visszatérésre kényszerítették. *Halley* mint hajóskapitány is megállotta helyét, mert a hosszú útról emberveszteség nélkül hozta haza legénységét, ami példátlan az akkori utazások történetében.

A földmágnesesség kérdéseire *Halley* többször visszatért. 1701-ben kiadott térképen az azonos deklinációjú helyeket folytonos vonallal kötötte össze s így az izogónok bevezetője lett. 1716-ban a nagy mágneses viharral kapcsolatban észrevette, hogy az északi fény és a földmágnesesség között összefüggésnek kell lenni.

A gyakorlati érzékű brit kormány nem riadt vissza attól, hogy a tudósnak érdemei elismeréséül admirálisi címet és fizetést adjon. Tengerészeti kérdésekkel *Halley* továbbra is kapcsolatban maradt. 1701-ben feltérképezte a Calais-i csatornát. A spanyol örökösödési háborúban *Anna* királynő szövetségese, *Lipót* császár is igénybe vette *Halley* szakértelmét, aki részt vett a trieszti kikötő építési munkálataiban. Ugyancsak a tengerészettel voltak kapcsolatosak *Halley* meteorológiai munkái, melyek során elsőnek vezette le a barométerrel történő magasságmérés logaritmikus formuláját. Sokat foglalkozott a passzát és monszún szelekkel, bár ezek magyarázatában nem volt szerencsés. Utazásaiban mindenütt sietett előmozdítani a csillagászok nemzetközi együttműködését. Különösen Greenwich és Párizs között járt ez sikerrel. A párizsi csillagda igazgatójával *Cassini*val meleg barátságba került.

Jelentős érdemei vannak *Halley*nek az optika területén is. A lencsés távcsövek elterjedése után *Kepler*, *Cavaleri* és *Barrow* sikertelenül próbálkoztak oly általános formulát felállítani, melyből a lencsék tárgy- és képtávolságait minden esetben ki lehetett volna számítani. *Halley*nek sikerült a dioptrika ezen alaptételét 1692-ben megtalálni és ezt a lencseformulát:

$$\frac{1}{k} + \frac{1}{t} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right],$$

ahol k és t a kép-, ill. tárgytávolságok; R_1 és R_2 a lencse görbületi sugarai és n a lencse anyagának törésmutatója, *Halley* képletének nevezhetjük.

1716-ban az általa javított búvárharangban a tenger színe alá merült és megfigyelte, hogy a víz sokkal erősebben nyeli el a kék és zöld sugarakat, mint a vöröset.

1703-ban *Wallis* halála után a matematika tanára lett Oxfordban. Itt sokat foglalkozott a holdmozgás elméletével, melyet tengerészeti hosszúság-meghatározásokra kívánt alkalmassá tenni. 1713-ban a Royal Society titkárává nevezték ki, s 1720-ban, *Flamsteed* halála után a greenwichi csillagvizsgáló igazgatója lett. Ő volt e híres intézmény (Royal Astronomer) második igazgatója és ezt a tisztet halála után *Bradley* vette át.

Legnagyobb hírnevét *Halley* az üstökösök pályaszámításával szerezte. Mint ismeretes, az üstökösöket sokáig földi eredetűeknek tartották, míg *Tycho de Brache* az 1577. évi nagy üstökös parallaxisát mérhetetlenül kicsinek találta és így biztosan kimondhatta, hogy a Holdnál messzebbnek kell lennie. Az 1644. évi üstökössel kapcsolatban *Borelli* megkockáztatta, hogy ellipszis pályán mozog. *Hevélius*, aki buzgón foglalkozott üstökös megfigyelésekkel, az 1652., 1661., 1664. és 1677. évi üstökösök megfigyeléséből azt vette ki, hogy pályájuk a Nap közelében erősen görbült, amiből parabola pályára következtetett. *Dörfel* plaueni lelkész pedig az 1680-i üstökösre *Kepler* törvényét alkalmazta és azt állította, hogy parabola pályán mozog, melynek gyújtópontjában a Nap van. Ezen vélemények inkább találgatások voltak, mert az üstökospálya pontos meghatározására *Newton* előtt senki nem gondolhatott.

Newton elméletét *Halley* öntötte pontos alakba 1705-ben. Bonyolult, de ugyanakkor pontos analitikai számítást dolgozott ki, melynek segítségével 1337 és 1698 között megjelent 24 olyan üstökös pályáját számította ki, melyről ele-

gendő pontos mérési adatok maradtak fenn. Ezek közül leghasználhatóbbak *Kepler* mérései voltak az 1606. évi üstökösről. Először az egyszerűbb parabola pályaelemeket számította. Az akkori számítás nem engedte meg, hogy különbséget lehessen tenni a pálya napközeli szakaszában a majdnem azonos parabola, hiperbola és ellipszis elemek között. A számított pályaelemek összehasonlításánál Halley három feltűnően hasonlót talált:

Üstökös	Ω		i	π	Megfigyelő
1532. aug. 24.	21^h 18^m	79° 25'	17° 56'	301° 30'	*Apianus*
1607. okt. 16.	3 50	80 21	17 2	302° 16'	*Kepler*
1682. szept. 4.	7 39	81 16	17 56	302° 52'	*Flamsteed*

Ebből azt a nagy horderejű következtetést vonta le, hogy itt ugyanazon üstökös háromszori visszatéréséről van szó. Ezen üstökös pályájának tehát ellipszisnek kellett lenni, 75 és 76 év közötti keringési idővel. Továbbá 75 év előtt, 1456-ban is, nagy üstökös volt látható, de ennek pontos megfigyeléseit *Halley* nem ismerte. Mégis a három bizonyos visszatérésből ki merte mondani, hogy az üstökös legközelebb 1758 végén, vagy 1759 elején vissza fog térni. Hatalmas diadala volt ez *Newton* elméletének, mert igazolta, hogy számítások segítségével előre meg lehet határozni az égitestek mozgását.

Halley idejében a pályaszámítás matematikai eszközei még nem voltak annyira fejlettek, hogy pontosabb meghatározást tettek volna lehetővé. Halley csak kb. fél év pontossággal jósolta meg a visszatérést, mert a bolygók, különösen a Jupiter pályamódosító hatását nem tudta figyelembe venni. *Halley* 1742-ben meghalt és nem érhette meg jóslatának valóraválását. Amint az üstökös újabb földközelségének ideje közeledett, egyre többen foglalkoztak azzal, hogy a perihélium időpontját nagyobb pontossággal határozzák meg. *Lalande* jeles francia csillagász *Clairaut*val és madame *Lepaute*tal több mint egy évi számolás után 1758. novemberében átnyújtottak a Francia Akadémiának egy értekezést, mely szerint az üstökös 1759. márc. 13 és máj. 13 között fog átmenni a perihéliumon. *Clairaut* számításainak bizonytalansága mindössze 30 nap volt. Ezen számításokban *Clairaut* nagy pontossággal vette figyelembe a Jupiter és Szaturnusz háborgatásait és úgy találta, hogy ezek 620 nappal hosszabbítják meg a keringési időt. 1758. dec. 25-én *Palitzsch* szász paraszt 8 lábnyi régi távcsövén, tudatos keresés után elsőnek figyelte meg a visszatérő, s már *Halley*-ről elnevezett üstököst. (*Palitzsch* földmívelő munkája mellett élénken foglalkozott csillagászattal, és abban elméletileg is tájékozott volt. A Pétervári Akadémia levelező tagjává választotta. A *Halley* üstökös megfigyelésén kívül érdeme az Algol változó voltának felismerése is.) Az üstökös 1759. márc. 12-én ment át a perihéliumon, vagyis épp a *Clairaut* által megadott határon. Az 1759-i megjelenésből még pontosabban lehetett pályáját számítani és így az 1835-i visszatérés számítása még pontosabb lehetett. A számítások ekkor már csak két heti bizonytalanságot adtak meg, sőt *Pontecoulant* számításai csak néhány órával tértek el a valóságtól. Legutoljára 1910-ben jelent meg és legközelebb 1986-ban lesz várható. Pályaelemeit ma nagy pontossággal ismerjük, úgyhogy visszafelé is kiszámíthatjuk megjelenéseit. I. e. 87-től kezdve 27-szer figyelték meg. Ezek közül az i. e. 12. évben történt megjelenését megkísérelték a betlehemi csillaggal azonosítani.

Halley második halhatatlan érdeme a csillagok sajátmozgásának felfedezése. *Hipparchos* és *Ptolemaios* csillagkatalógusait *Flamsteed* adataival összehasonlítva, 1718-ban azt találta, hogy a Sirius, Aldebaran és Arkturus helyeiben oly

jelentékeny eltérések vannak az ókori megfigyelésekhez képest, hogy ezt nem lehetett egyedül a régiek helymeghatározási pontatlanságának betudni. Ebből kortársai ellenkezése és kételkedése ellenére is azt a helyes következtetést vonta le, hogy ezek a csillagok mozognak. A csillagok mozgását azután *Halley* utóda a greenwichi csillagvizsgáló igazgatóságában, *Bradley* vizsgálta részletesebben. A sajátmozgás ma a sztellárasztronómia egyik legfontosabb adata.

Életének utolsó 23 évét, mint a greenwichi csillagda igazgatója töltötte. Magas állása és előrehaladott kora ellenére nem szűnt meg személyesen is megfigyeléseket végezni, Több fogyatkozást figyelt meg, valamint a Merkur áthaladását a Nap előtt. *Halley* javasolta azt is, hogy a Vénusznak a Nap előtt való áthaladásából határozzák meg a Föld és Nap közti távolságot. Ez a meghatározás 1761-ben az első nagy nemzetközi tudományos megfigyelés keretében meg is történt.

Halley 1742. jan. 25-én halt meg, 86 éves korában. Életét szorgalom, barátságos kedély és sokoldalúság jellemezte. Pályaszámításokban megnyilvánuló nagy matematikai készsége, pontos megfigyelései és a régivel szakítani tudó fantáziája, a XVIII. sz. legnagyobb csillagászai közé emelik. Kortársai szerették és életében minden anyagi és erkölcsi elismerést megkapott. Őszinte barátság fűzte a nála 14 évvel idősebb *Newton*hoz. Sőt a félénk és eredményeit habozva közzétevő *Newton Halley* ösztönzésére állt elő gravitációs elméletével. Mint ismeretes, *Newton* első számításai a Hold mozgására vonatkozólag, a téves földsugár-érték felhasználása miatt helytelen eredményekre vezettek.

Newton e kudarc után 13 évig nem foglalkozott a gravitáció elméletével. Közben *Wren*, *Halley* és *Hook* is foglalkoztak a kérdéssel, sőt *Halley* a *Kepler*-törvényekből a vonzóerőnek a távolság négyzetével való arányosságát is felismerte. *Hook* azt állította, hogy a bolygómozgás valamennyi törvényét felfedezte, a bizonyítást azonban nem tudta bemutatni. Ekkor *Halley* ösztönzésére 1686-ban közölte *Newton* teljes átfogó elméletét. *Hook* elsőbbségi vitát provokált, sőt *Newton*t szellemi tolvajlással is megvádolta. Ugyanakkor *Halley*, aki pedig közelebb állt a megfejtéshez, mint *Hook*, tisztelettel elismerte *Newton* elsőbbségét és érdemeit latin ódákban ünnepelte. *Newton* és *Halley* egész életükben kitűnő, jó barátok maradtak annak ellenére, hogy *Newton* hívő vallásos érzületű volt, aki teológiai munkáit szinte a csillagászatiaknál is többre becsülte, *Halley* pedig szkeptikus és ateista hírben állt.

LÁTOGASSA AZ

ISMERETTERJESZTŐ MOZIT

BUDAPEST VI, NÉPKÖZTÁRSASÁG ÚTJA 82.

Mindennap délután 3, fél 5 és 6 órai kezdettel, műsorunkon természettudományos, művészeti és történelmi tárgyú, magyar és külföldi kisfilmek, valamint rajz- és mesefilmek szerepelnek

Jegyek ára: 1,50 forint, gyermekeknek 1 forint

A részletes műsort az „Élet és Tudomány" és a „Budapesti Műsorkalauz" közli

DEZSŐ LORÁNT

HÁROM ÉVSZÁZADOS ÍRÁS: „AZ ÉGI DOLGOKRÓL"

1653-ban Utrechtben írta és ugyanott még abban az évben nyomta ki *Apáczai Cseri János* enciklopédiájának[1] VI. részét. „*Az égi dolgokról*" címmel jelent meg ez a mintegy 2 ív terjedelmű munka: az első magyar nyelvű csillagászati ismereteket közlő írásmű. Első hazai egyetemünkön a (később Budára költözött) nagyszombati egyetemen, alapításától, 1635-től kezdve tanítottak már csillagászatot is, de nem magyar nyelven. (A csillagászati kutatások céljára készült első magyar csillagvizsgálót ezen egyetem kebelén belül csupán száz évre rá kezdték felépíteni.)

Apáczai Cseri enciklopédiájának 29 pontra tagolt VI. részében megkísérelte ismertetni a csillagászat alapfogalmait és *Descartes* nyomán vázolta az égitestek mozgásának akkori értelmezését is.

Az I. pontban *Descartes* „örvény" elmélete és ennek néhány következménye (egyébként elég nehezen érthető) vázlatos, igen rövid összefoglalását találjuk. *Descartes* szerint az egész Világmindenség anyaga három alapelemből áll (a tűz, víz és föld analógiájára): a világító, átlátszó és át nem látszó, a fényt csupán visszaverő anyagból. Az elsőből épülnének fel a Nap és az „álló" csillagok, a második töltené ki az égitestek közötti teret és a harmadik alkotná pl. a Földet és a többi bolygót, vagy legalábbis azok külső burkát. (Az égitestek közötti hézagokat betöltő anyag, azaz az éter gondolatát egyébként *Descartes* előtt már *Giordano Brunónál* is megtaláljuk.) *Descartes* úgy gondolta, hogy a Nap forgása örvénylő mozgásra kelti a vele érintkező éterrészeket. Ezek, a Naphoz közeli, mozgásban levő éterrészek a Naptól rendre mind nagyobb és nagyobb távolságra levő éterrészeket tartanának mozgásban, hasonlóan ahhoz, mint ahogy a vízbe dobott kövek a keltett hullámok révén megmozgatják a távoli víztömegeket. A tenger halaihoz hasonlóan tehát, az összes égitestek az éterben lebegnének. Ennek mozgása szükségképpen magával ragadná a bolygókat és eredményezné elmozdulásukat. A bolygók körül mozgó holdak mozgása így teljesen a Nap körül mozgó bolygók mintájára értelmezhető. Bármilyen anyag mozgása, így természetszerűleg más anyagok elmozdulását kell, hogy eredményezze. (Mindezek mellett ezen örvényelméletére alapította *Descartes* a már materialista jelzővel illethető kozmogóniáját, azaz a Világmindenség kialakulását tárgyaló elméletét is.)

A *Descartes*-féle örvények érthetővé tették a Nap és a bolygók, valamint a bolygók és holdjaik közötti kapcsolatot. Megmagyarázhatóvá vált az is, hogy a Naptól nagyobb távolságra mozgó bolygók miért végzik lassabban napkörüli keringéseiket, mint a közelebbiek, hiszen nyilvánvaló, hogy a Nap forgásától mozgatott éterrészek a Naptól nagyobb távolban csak kisebb sebességgel tudhatják elmozdítani a bolygókat. A bolygók mozgásának *Kepler* által felfedezett törvényeit azonban már semmiképpen sem lehetett ezen az úton értelmezni.

Örvényelméletének alapjait *Descartes* egyik első nagyobb[2], 1637-ben megjelent művében fejtette ki. A továbbfejlesztett elméletet későbbi írásaiban tette közzé. Legrészletesebben a Principia Philosophiae-ben. *Descartes* örvényelmélete a *Newton*-féle gravitációs, azaz az általános tömegvonzási törvény 1687-ben történt nyilvánosságra hozatala óta, túlhaladott álláspont. A maga korában azonban, már akkor felismert tökéletlenségei ellenére is, igen jelentősnek látszott *Descartes* elmélete, mert ez volt az egyetlen, némileg is sikeres kísérlet *Newton* előtt a naprendszerbeli mozgások megmagyarázására. Sok európai, így

[1] „Magyar encyklopaedia avagy minden eddig feltalált, igaz, és hasznos böltseségnek szép rendbe foglalása és magyar nyelven világra botsátása."

[2] „Discours sur la methode pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les scienses."

különösen francia főiskolákon, illetve egyetemi tanszékeken, egészen a XVIII. század végéig, a *Descartes*-féle örvényelméletet tanították, és nem *Newton* gravitációs törvényét.

Szükségesnek tartom megjegyezni, hogy *Apáczai Cseri* szűkszavú szövegéből, véleményem szerint, aligha lehetett az itt vázolt örvényelméletet kellőleg áttekinteni és megérteni. Ma, a régi nyelvezet miatt különösen nehezen érthető *Apáczai Cseri* szövege más helyeken is. Szerencsére, több, valószínűleg elsőnek éppen általa magyarra fordított szakkifejezésnek a latin jelentését is közölte lábjegyzetként az egyes pontok végén, és ezekre támaszkodva általában elkerülhető, hogy félreértsük *Apáczai Cseri* csillagászati ismertetését.

A II. pont így kezdődik: „Az égi dolgok, avagy csak kigondolttattak, avagy ugyan voltaképpen valók." Itt a „való égi dolgok" az égitestek, a „kigondolttattak" pedig a látszólagos gömb alakú égbolt, vagy rövidebben az ég és az égi koordináta rendszer stb. Tehát azok az égbolton elképzelhető körök, egyenesek, pontok, amelyek segítségével a csillagos égboltnak, a Napnak, bolygóknak stb. főleg a Föld forgása és napkörüli keringése folytán előálló látszólagos elmozdulásai egyszerűen írhatók le. Ezek okvetlenül szükségesek a csillagászati jelenségek érthető megfogalmazásához, és szorosan hozzátartoznak a csillagászat alapfogalmaihoz, illetve (helyesebben: ma inkább azt mondanánk) a szférikus csillagászat alapfogalmaihoz. *Apáczai Cseri* korában azonban ezek voltaképpen az összes csillagászati ismeretek alapjait jelentették, mivel abban az időben a csillagászat még lényegileg és csupán a szférikus csillagászatból állt. Enciklopédiájának szigorúan erre, a csillagászat klasszikus fejezetére vonatkozó részei ma is lényegileg helytállóak és ezek ma is elengedhetetlen csillagászati alapfogalmak.

A II. ponttól kezdve a XVI. pontig bezárólag főleg ilyen természetű dolgokat tárgyal *Apáczai Cseri.*

Az égbolt napi és évi mozgásával kapcsolatban azt írja, hogy az egyenlítő tengelye „az, amely körül az egész ég mindennap napkelet felől napnyugotra láttatik forogni, avagy (amint némelyek tartják) a Föld forog napnyugotról napkeletre". A zárójelbe tett megjegyzéssel nyilván *Kopernikus* tanításának elfogadóira céloz. Ez kissé furcsának tetszik, hiszen *Apáczai Cseri,* amint azt éppen enciklopédiája több ezzel kapcsolatos helye igazolja, *Descartes* nyomán maga is Kopernikus követői közé tartozott.

A XVIII. és XIX. pontokban néhány különleges, fényességváltozásukról nevezetes csillagot említ. A fényüket szabályos szakaszossággal változtató csillagok közül elsőnek a XIX. pontban említett cethal csillagképbeli o Ceti, vagy Mira elnevezésű csillagot ismerték fel változónak, amelynél a fényváltozás periódusa közel egy év és a fényességingadozás nagyobb, mint a szabad szemmel látható legfényesebb és leghalványabb csillag fényességkülönbsége. Mivel azonban az o Ceti olyankor, amikor legfényesebb, még jóval halványabb a legfényesebb csillagoknál, ezért a csillag időnként, egy időre eltűnik a szabad szem elől. A csillag nyilván nem 1638-ban tűnt fel először, ahogyan *Apáczai Cseri* említi, hanem talán csak akkor figyeltek fel rá. Egyébként 1569 és 1609-ben is észlelték. A fényességüket hirtelenséggel különösen óriási módon megnövelő, azelőtt sohasem látott csillagokat is említ *Apáczai Cseri.* Régebben azt hitték, hogy ilyenkor egy új csillag keletkezett és ezért nevezték őket nováknak. A biztonsággal nováknak identifikált csillagok közül a három legrégebben észleltet említi a XVIII. pontban. Az 1572. évben feltűntet, a híres *Tycho Brache*-féle novát és az 1604-es N Ophiuchit, továbbá az 1600-ban fellángolt hattyú csillagképbelit, a P Cygnit. Ez utóbbi, mint igen halvány csillag, ma is látszik. A másik két nova, amint az a legtöbbször történik, 1—2 év elmúltával annyira elhalványodott, hogy szabad szemmel nem vehető azóta észre. (A Cygni a „Geschichte und Literatur veränderlicher Sterne", Band II. S. 455. szerint 1626—1655 között

szabad szemmel nem volt látható. Ezzel szemben áll *Apáczai Cseri* megjegyzése: „mind a mai napig tündöklik".)

A XXIV. ponttól kezdődőleg, sajnos, sok helyen az asztrológiával, azaz a csillagjóslás babonájával kapcsolatos dolgok is bekerültek *Apáczai Cseri* enciklopédiájába. Így több asztrológiai babonás szabály vagy ezekre vonatkozó megjegyzés.

Descartes nem hitt a csillagjóslásban és így valószínűnek tartjuk, hogy a *Descartes* filozófiáját követő *Apáczai Cseri* sem. Az akkori korszellem kényszerítő hatásánál fogva tarthatta *Apáczai Cseri* ezeket a részeket kihagyhatatlannak. Hiszen abban az időben még alig jelenhetett meg csillagászati, vagy akár csak csillagászati vonatkozásokat tartalmazó könyv, amelyben a csillagjóslásról ne esett volna szó. Tény, hogy az 1571-től 1630-ig élt *Kepler* maga sem zárkózhatott el a csillagjóslás elől. Tudományos kutatásainak és megélhetésének biztosítása szorította erre rá mind *Keplert*, mind több más úttörő kiváló tudóst. Számos, idevonatkozó tudománytörténeti adat tanúskodik minderről.[3]

Az asztrológiai regulák mellett *Apáczai Cseri* végeredményben (ma azt mondanók) dióhéjnyi népszerű csillagászati ismertetést adott. De a szférikus csillagászat alapfogalmainak definícióin alig ment túl és a legszembeszökőbb és közismert égitestekre vonatkozólag közölt még csupán néhány mondatos jellemzést vagy megjegyzést.

Igaz ugyan, hogy abban a korban, a Földet is beszámítva, még csak hat bolygót és öt holdat ismertek. Így, az akkor még tökéletlen távcsövekben a Szaturnusz gyűrűje helyett pusztán a Szaturnusz két oldalán, átlósan ellentétes irányban, valami kidudorodásféleséget láttak, amely olykor-olykor, egyes észlelők szerint, két ellentétesen elhelyezkedő hold benyomását keltette. (A Szaturnusz elsőnek megismert holdját csak 1655-ben fedezte fel *Huygens*, aki egyben először ismerte fel a Szaturnusz gyűrűjét is és adta meg a korábbi észlelések helyes értelmezését.) Abban az időben azonban, amikor *Apáczai Cseri János* az „Égi dolgok" címmel enciklopédiájának csillagászati részét megírta, a bolygómozgás *Kepler*-féle törvényei is már eléggé jól ismertek voltak és *Galilei* szintén megtette már nagy felfedezéseit. De, sajnos, mindezekről az „Égi dolgok" között alig olvashatunk valamit.

[3] Nevetségesen, hihetetlenül hangzik, de évszázadunkban is vannak, akik hisznek a még jobbára évezredekkel ezelőtt kitalált misztikus csillagjóslási „szabályoknak". Ez egyedül a kellő elemi természettudományos műveltség hiányával magyarázható csupán. Mint érdekességet megemlítjük, hogy német csillagászoktól nyert értesülések szerint **Hitler** is jósoltatott magának asztrológusokkal. De **Wallenstein** hadvezér, a **Keplertől** kierőszakolt jóslatokból sem tudhatta meg előre tragikus végét.

Az Ismeretterjesztő Társulat Uránia Bemutató Csillagvizsgálói az ország több nagyvárosában az érdeklődők rendelkezésére állnak

Miskolc: Kilián gimnázium
Szombathely: Nagy Lajos gimnázium
Baja: Tóth Kálmán utca 19
Eger: Pedagógiai Főiskola
Debrecen: Tudományegyetem
Szeged: Tudományegyetem

A vidéki Urániák esténként előadásokat és távcsöves bemutatásokat tartanak

IFJ. BARTHA LAJOS
JABLONCZAY ATTILA

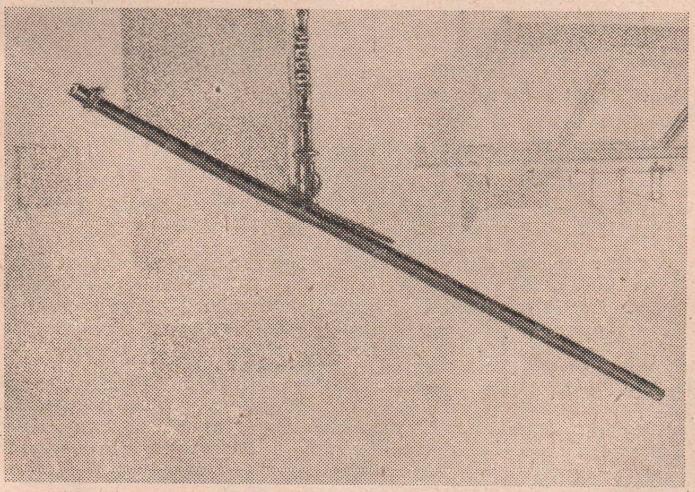
A SÁROSPATAKI FŐISKOLA CSILLAGÁSZATI MŰSZERGYŰJTEMÉNYE

A XVIII. század a csillagászat történetében is mozgalmas korszak volt. A felvilágosodás eszméi nem maradtak hatástalanok a fizikára — s így a csillagászatra — sem. A század elején *Newton* tevékenysége adja meg a kutatások irányát: a pozíciós csillagászat és az égimechanika fejlesztését. Ezt a kort *Herschel* zárja le, új területekre terelve az asztronómiai vizsgálatokat.

Az 1700-as években valósággal szenvedéllyé válik a kísérletezés. Tudósok laboratóriumában, főurak dolgozószobájában és társaságok szalonjaiban egyaránt ott találjuk a légszivattyút, a távcsövet, lencséket, tükröket, és a kor egyéb kedvelt experimentáló eszközeit. Különösen kedvelt tudomány volt a csillagászat, egyre-másra alapították az obszervatóriumokat. Másrészt a gyakorlati szükséglet is megkövetelte a csillagvizsgálók felállítását. A hajózás és az ekkor meginduló nagy földmérések, térképezések számára szükség volt pontos csillagászati megfigyelésekre is. Így hát egymás után létesültek a nagy csillagvizsgálók: *Greenwichben, Párizsban, Berlinben, Rómában, Bécsben, Pulkovóban, Varsóban.*

Ebben a versenyben hazánk igen előkelő helyet foglalt el. A század második felében négy nagy csillagvizsgáló működik Magyarországon: *Nagyszombatban (1753), Budán (1777), Egerben (1786) és Gyulafehérvárott (1794).* Kisebb jelentőségű volt az 1755-ben létesített *kolozsvári* egyetemi csillagvizsgáló. Mindegyik intézet a maga korában nagy hírnévnek örvendett, s joggal állapíthatta meg a korabeli hírlapíró: *„Ritka ország, hol ennyi* (ti. csillagvizsgáló) *találkozzék."* Tényleg, Anglia és Itália kivételével, egyetlen ország sem rendelkezett ilyen sok obszervatóriummal.

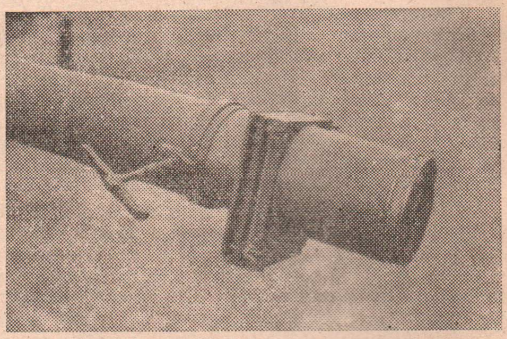
Nagy csillagvizsgálóink kivétel nélkül a katolikus klérus birtokában voltak. Ez időben ugyanis a csillagdákat patronáló főiskolákon szerzetes tanárok működtek, másrészt pedig az egyház rendelkezett a legnagyobb vagyonnal.



25. ábra. Nagy tubus

Tudományos intézeteink mellett azonban nem szabad megfeledkeznünk az iskolai oktatás céljait szolgáló csillagászati műszergyűjteményekről sem. A XVIII. sz.-ban különösen a nagyhírű református kollégiumaink rendelkeztek szép gyűjteménnyel. (Sárospatak, Debrecen, Nagyenyed.) Ezek a „csillagvizsgálók" — ha nem is folyt bennük tudományos értékű megfigyelés — kétségtelenül jelentősek kultúrtörténeti szempontból. Közöttük igen érdekes a *sárospataki* főiskola régi műszereinek gyűjteménye.

A sárospataki iskolát 1531-ben létesítette *Kopácsi István.* Működésének első két évszázadában többször cserélt gazdát, hol református tanárok, hol jezsuita szerzetesek tanítottak benne. Végül 1703-ban véglegesen a reformátusok birtokába került. Az iskolát a sárospataki birtok urai minden időben hathatósan támogatták, így hát hamar nagy hírre tett szert.



26. ábra. Kircher-féle mikrométer (nagy tubuson)

Ámbár a főiskola önálló matematikai és fizikai tanszékkel nem rendelkezett, e tantárgyak oktatására minden időben nagy súlyt heztek. Amikor *Rákóczi György* 1639-ben *Tolnai Dali Jánost* nevezte ki az igazgatói székbe, az új igazgató első teendője az *Aristotelesi* filozófia és fizika tanításának eltörlése volt! (A világhírű Sorbonne és Oxford még 150 évvel később is Aristoteleshez ragaszkodott.) Egy évszázaddal később pedig *Simádi István* már kísérleti fizikát tanít.

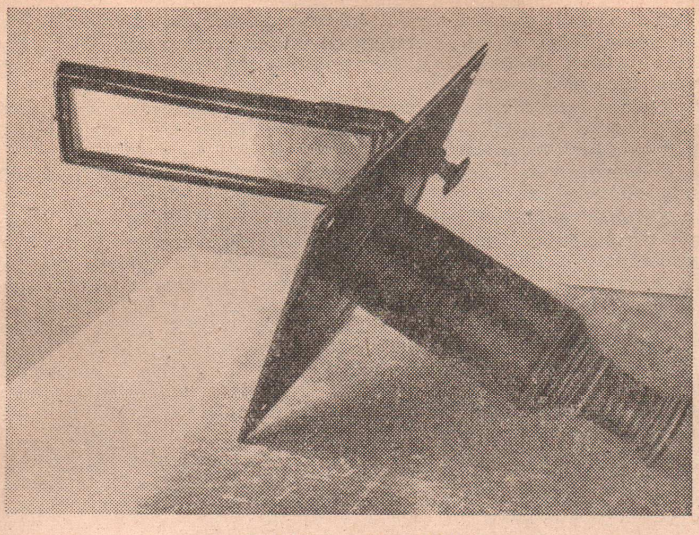
A főiskola múzeumának keletkezését is erre az időre, a XVIII. sz. elejére tehetjük. (Múzeum alatt ekkoriban a szertárakat, műszergyűjteményeket értették.) A fizikai szertár gyarapítása terén legtöbb érdem *Szilágyi Márton* és *Barczafalvi Szabó Dávid* nevéhez fűződik.

Szilágyi készítette el a szertár első katalógusát is, 1774-ben. Ebben a műszereket kilenc csoportra osztja, a fizika ágai szerint. (Mértani, Mechanikai, Hidrostatikai, Hidraulikai, Areometriai, Optikai, Csillagászati és Földrajzi, a Súlytalan fluidumok mágneses és elektromos eszközei, végül Hőtani eszközök.) Összesen 140 tételt sorol fel, ezek közül 17 csillagászati vonatkozású. A katalógus címe a következő:

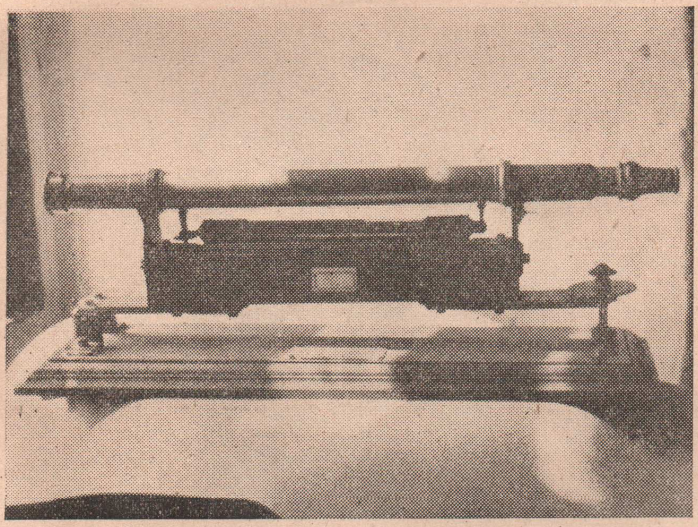
> *Protocollum Musei Phisici Ill. Collegii Reformatorum S. Patakiensis. Inchoatum per me* M a r t i n u m S z i l á g y i *Phil. et Math Prof. P. Ao. 1774 et succesive Annisqu. continatum. — Continuatem et auctum per me* D a v i d e m S z a b ó d e B a r t z a f f a l v a *Mathes. et Phisic. Prof. P. O. ab anno 1791.*

Azaz: A reformátusok sárospataki híres kollégiuma fizikai múzeumának leltára. Vezetését megkezdte 1774-ben és a következő években *Szilágyi Márton,* a bölcsészet és matematika nyilvános tanára. — 1791-től folytatta és gyarapította *Barczafalvi Szabó Dávid,* a matematika és fizika nyilvános rendes tanára.

Ezután rövid magyarázat következik, majd az eszközök felsorolása. A *Mértani eszközök (Instrumenta Geometricae),* tulajdonképpen geodéziai műszerek között találunk irányzóval *(dioptra)* ellátott astrolábiumot, mérnöki mérőasz-



27. ábra. Napmikroszkóp és heliosztát



28. ábra. Szintező műszer

talt, rézből készült szintező-libellát irányzóval, távcsővel felszerelt „kiváló" libellát, fokbeosztásos körrel és irányzóval felszerelt szintezőt.

A *Mechanikai eszközök (Inst. Mechanica)* között egy fából készült óraszerkezet említésre méltó.

Az *Optikai eszközök (Inst. Optica)* találunk egy „igen jó napmikroszkópot" *(microscopium solare)*, egy *Dollond*-féle távcsövet öt okulárral, valamint három más távcsövet földi használatra.

A Csillagászati és Földrajzi eszközök (Inst. Astronomica et Geographica) 10 tételt sorakoztatnak fel.

A műszerek tekintélyes részét *Szilágyi Márton* szerezte be, vagy maga készítette. A külföldről beszerzett eszközök jobbára Németországból és Hollandiából származnak. A 140 instrumentum közül azonban 65 *Szilágyi* saját készítménye. *Szilágyi Márton* nemcsak korának híres fizikatanára, hanem egyúttal igen jó gyakorlati szakember is volt.[1] Utóda, *Barczafalvi Szabó Dávid* szintén gyarapította a szertárat, ha kisebb mértékben is.[2] A XIX. sz.-tól kezdve azonban a fizikai múzeum hanyatlásnak indul. *Kézy Mózes* (1813—31) alatt még történt 35 beszerzés, de ettől kezdve alig történik új vásárlás. A múzeum újabb katalógusa (*„A sárospataki ref. főiskola szépészeti és műrégészeti főkönyve"*. A pataki főiskola legrégebbi fizikai eszközei c. rovat, (1936/37) majdnem ugyanazokat az eszközöket sorolja fel, mint a *Szilágyi*-féle „Protocollum".

Ma már a régi katalógusban felsorolt eszközök közül több hiányzik. Eltűntek, elpusztította őket a múzeum többszöri költöztetése és két világháború vihara. A meglevők azonban még mindig igen jelentős dokumentumai a hazai

[1] **Szilágyi Márton** (1748—1790) Debrecenben született, tanulmányait is ott kezdte, majd külföldön (Göttinga, Basel) folytatta. 1773-tól haláláig a sárospataki főiskola matematika-fizika tanára. Több vallási művet írt. Fizika könyve kéziratban maradt. Kiváló kísérletező volt.

[2] **Barczafalvi Szabó Dávid** (1753 vagy 55—1828). Bodrogkeresztúron született. Sárospatakon, majd külföldi akadémiákon tanult. 1791-től 1805-ig a sárospataki főiskola fizika-matematika tanára volt. Ámbár tehetséges, haladó szellemű fizikus volt, nevét mégis nyelvújítási kísérletei és műfordításai tartották fenn.

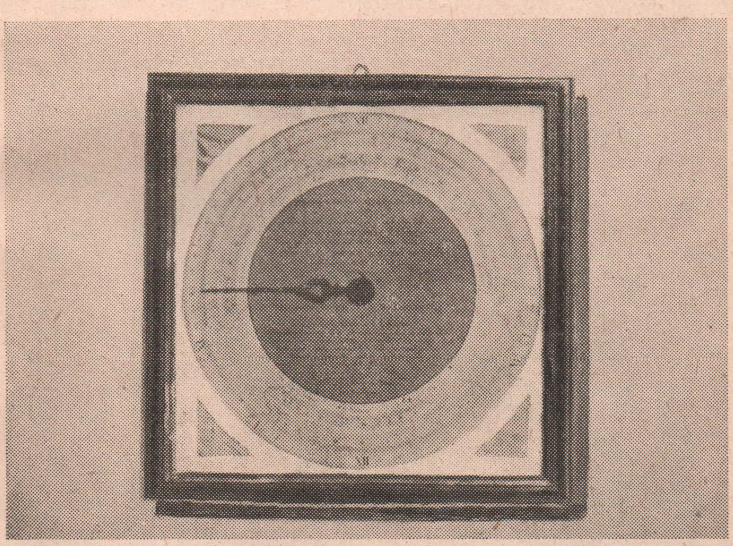
29. ábra. Doppelmaier-féle éggömb

művelődéstörténetnek. A csillagászati felszerelés közül a következőket őrzi a múzeum:

1. *Nagy tubus.* Csillagászati távcső a XVIII. sz.-ból. A „Protocollum"-ban a 7. tétel.

A cső bádogból készült, zöld festés borítja. Hossza 9 láb 10 hüvelyk 15 vonal, azaz 318,4 cm. A tárgylencse egyszerű, nem akromatikus szemüveg, átmérője 5,1 cm. Hasonló a szemlencse is. A távcső szemlencséje elé *Kircher-féle* mikrométer van szerelve. A *Kircher*-mikrométer a mai szálas, pozíciókörös mikrométerek elődje. Az okulár elé elhelyezett ezüstszálakat finom csavarral lehet egymáshoz közelíteni vagy távolítani, és így kicsiny — néhány ívperces és másodperces — szögeket pontosan mérni. A mikrométer a távcső optikai tengelye körül körbe forgatható. A cső szélére szerelt koronakerékbe kulccsal forgatható fogaskerék kapaszkodik. A kulcs forgatásával a mikrométer is fordul.

A távcső fából esztergált barokkos talpon áll. Függőleges és vízszintes tengely körül forgatható, a vízszintes tengely rögzíthető. A műszer használható állapotban van, ámbár a leképezése igen gyenge. *Szilágyi* szerezte be az 1770-es években. A mikrométert *Weiss Ferenc*nek, a budai csillagvizsgáló igazgatójának felügyelete alatt *Rössel Tamás* budai mechanikus szerelte rá, 1780 körül. Maga a távcső feltehetőleg a XVIII. sz. első feléből származik. Erre utal a tárgylencse nem akromatikus volta. A színtelenítő lencsét *Dollond* kezdte alkalmazni 1757-től kezdve. Valószínűleg új műszer beszerzésénél *Szilágyi* is *Dollond*-féle csövet vett volna, annál is inkább, mert a század utolsó negyedében ezek már igen elterjedtek.



30. ábra. Horodictum meridionale

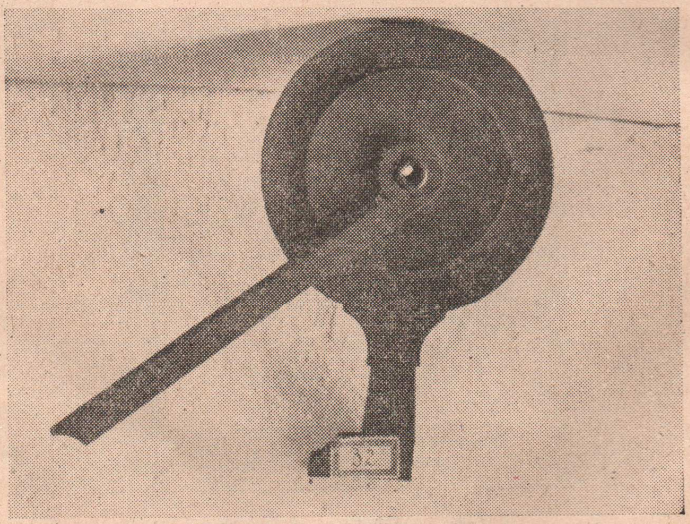
2. *Földi látcső.* Ún. tengerész vagy kihúzós távcső, egy szemre. A „Protocollum" optikai eszközeinek 17/b tétele. Kartonpapírból készült, fekete cső, az objektív foglalata réz. Objektívje egyszerű, erősen zöldes színű, nem akromatikus lencse. Átmérője 3,7 cm, a csőhossz — öszetolva — 50 cm. Kihuzata barok-

kos figurákkal díszített kéregpapír. 1763—1773 közt került a szertárba. A távcső okulárja hiányos, nem használható.

3. *Földi távcső.* A „Protocollum" optikai eszközök 17/a tétele. Négyszögletes, vörösre lakkozott fatubus. Mindkét végén kúp alakúra esztergált fatartó a lencsék számára. Oldalán félretolható ajtócska. Lencséi igen kicsik, a cső nem használható. Lehetséges, hogy egy — ma már elveszett — napmikroszkóphoz alkalmazták. 1774 előtt került a szertárba, a XVIII. sz. közepén készülhetett.

4. *Napmikroszkóp és heliosztát.* A napmikroszkópok — jellegzetesen, XVIII. sz.-beli eszközök — apró tárgyak megfigyelésére szolgáltak. A tárgylencse elé helyezett apró tárgyakat a mikroszkóp optikai rendszerének segélyével ernyőre vetítették, így egyszerre többen is szemlélhették. Eszközünk azonban mégis a csillagászati műszerek közé tartozik, egyrészt, mert vele a Nap képét is ki lehetett vetíteni, másrészt a rászerelt tükrös heliosztát (nap-állító) miatt. Nevét onnan nyerte, hogy fényforrás gyanánt napfényt használtak, erősebb megvilágítási lehetőség híján.

A „Protocollum" optikai eszközei közt (5. tétel) említett napmikroszkóp egy 15 × 15 cm-es négyzet alakú rézlemez egyik oldalára szerelt távcsőből, és a másik oldalra illesztett heliosztátból áll. A cső rézbádogból készült, hossza 15 cm. A tárgylencse egyszerű, nem akromatikus, átmérője 4,7 cm. A rézlemezen fúrt nyíláson keresztül tekint a tükrös nap-állító felé. Ez voltaképpen egy 14,7 × 6,5 cm-es tükörből áll. A tükör a rézlemezbe vájt félkör alakú nyílásban a cső optikai tengelye körül elforgatható. Ugyanakkor a lencsével bezárt szöge csavarral finoman állítható.



31. ábra. Horologium („csillag-óra")

A napmikroszkópot szilárdan fel lehetett rögzíteni ablakkeretre. (Erre utal a rézlemezen levő négy csavarluk is.) A tükröt addig állították, míg a Nap sugarait a lencsére nem vetítette. (Ezért heliosztát.) Ezután a fogasgombbal mindig

be lehetett a Napot állítani. A műszert *Szilágyi Márton* vette 1773—1791 közt. Kivitele után ítélve a XVIII. sz. utolsó évtizedeiből származik.

5. *Szintező műszer.* A múzeum egyik legszebb darabja. Valószínűleg a „Protocollum" geometriai műszereinek 11-es tételével azonos. Fatalpazatra szerelt rézlibellából és rézből készült távcsőből áll. A távcső 50 cm hosszú, objektív lencséje 1,1 cm átmérőjű. A cső vízszintes tengelye körül függőlegesen fel-le mozgatható, de csak kis határok között. A mozgatás rugós feszítésű, finoman metszett csavarmenettel történik. Az eszközt mérnöki terepfelvételhez használták. A fatalpon, rézlemezkébe vésett felirat található az ajándékozó nevével:

SPECT ac PERLL DNŪS
JOSEPHUS PATAY de BAÁJ
DONDVU Coll. R Patak 1782.

Tehát *Patay József* ajándéka. *Szilágyi Márton* idejében került a szertárba. G. F. *Brander, Augsburg* gyártmánya. Teljesen ép, használható állapotban van. Egyike a legrégebbi földmérő eszközeinknek.

6. *Éggömb.* A „Protocollum" csillagászati rovatának 2-es tétele. Átmérője 37 cm. A csillagképeket színes, figurális díszítéssel jelzi. A csillagokat kb. a 4—5. nagyságrendig tartalmazza. Nyolcszögletű fakeretben és faállványon. Az egyes csillagképek rajza a *Bayer János-féle „Coelestis Novus"* alapján készült. Az éggömb készítője *J. Doppelmajer.* A csillagok *Hevelius* koordinátafelvételei alapján kerültek az éggömbre. A csillaghelyzetek 1730-ra vannak megadva, maga az éggömb 1728-ban készült, és nagyjából ez idő tájt került a főiskola birtokába.

7. *Horodictum Meridionale.* A „Protocollum" csillagászati műszerei között a 8-as.

Számoló tárcsa a középidő és valódi idő kölcsönös átszámolásához. Kartonpapírra nyomtatott beosztás mentén mutató forgatható, megfelelő beállítással a középidőnek megfelelő valódi idő (és viszont) a mutató hegyénél leolvasható. A tárcsa átmérője 25 cm, a barokkos rézmutató 12,7 cm hosszú. A nyomás színe zöld és fehér. Felirata:

Se fuit et vend chez G. F. Barnder Mechanicien et Membre de l'Academie Electle de Science Baviere a Augsburg.

A XVIII. sz. közepén készült, 1766—1773 közt került a főiskola birtokába.

8. *Horologium.* „Csillagóra", segítségével éjszaka a Nagy Medve (Göncölszekér) csillagainak segítségével megállapíthatjuk a hozzávetőleges időt. Barnára pácolt fából készült. A nyéllel ellátott tárcsán kisebb korong forgatható, e felett pedig egy mutató. A 10 cm átmérőjű külső tárcsán a hónapok napjait találjuk. A 6,6 cm-es forgótárcsán az óra és perc beosztást találjuk. A Horológiumot úgy használjuk, hogy a forgótárcsán levő kis bütyköt a megfelelő hónap megfelelő napjához igazítjuk. Ezután kézbefogva a műszert, észak felé fordulva, addig forgatjuk a 6,6 cm hosszú mutatót, míg az éppen fedi a Nagy Medve két hátsó csillagát (α-t és β-t).

A Horológium hátlapján pontos szélrózsa van felvésve. Az eszköz készítője a leydeni *Anthony Rinson. Paksi Pál* tanár szerezte be 1761. október 22-én.

Ez a műszer a középkorban, sőt még a XVI. sz.-ban is igen fontos eszköz volt. A XVIII. sz.-ban azonban csak demonstrációs célra használták.

Ezek a sárospataki főiskola csillagászati műszerei. Az eredeti katalógushoz képest több tárgy már hiányzik. Így a *Szilágyi* által említett *Gregori* típusú tükröstávcső, az általa beszerzett *Dollond*-féle távcső, a *Dollond*-féle földi látcső, és több más eszköz. A XIX. századtól kezdődőleg újabb csillagászati eszközök beszerzése nem történt. Így is igen szép és értékes műszergyűjteményt képez a főiskola múzeuma.

Hogy a műszerekkel tudományos értékű észlelés történt-e, erről nincsen tudomásunk, de nem is nagyon valószínű. *Szilágyi*, majd később *Kézy Mózes* végzett kísérleteket, ezek azonban optikai megfigyelések voltak. A távcsöveket tehát inkább az égitestek bemutatására és a csillagvizsgálók felszerelésének demonstrálására alkalmazták. Kétségtelen azonban, hogy a maga korában komoly tudományos értéket képviselt a gyűjtemény.

Jelenleg mind a csillagászati műszerek, mind a fizikai múzeum többi darabja a *Tiszavidéki Református Egyházkerület Sárospataki Tudományos Gyűjteményének* birtokában van.

*

Végül hálás köszönetet kell mondanunk a *Sárospataki Tudományos Gyűjtemény* igazgatójának és munkatársainak, nemkülönben a TTIT Titkárságának, amiért az érdekes eszközök tanulmányozását számunkra lehetővé tették.

A legnagyobb tükrös távcsövek. Egészen századunk elejéig a csillagászok idegenkedtek a tükrös távcsövek — reflektorok — alkalmazásától. A 102 cm-es lencse elkészítése (Yerkes csillagvizsgáló, USA) és a franciák 120 cm-es kísérletének kudarca után bebizonyosult, hogy a refraktorok elérték a legnagyobb méretet. Egy méternél nagyobb lencsét készíteni sem technikai, sem optikai szempontból, nem célszerű. Így a figyelem fokozottabb mértékben a reflektorok felé fordult.

Az első nagyméretű tükrös távcsövet Herschel készítette a XVIII. sz. végén. Műszerének tükre 120 cm átmérőjű volt. A XIX. sz. közepén készült Lord Ross-féle 180 cm-es reflektor még ma is komoly méretnek számít. Azonban sem Herschel, sem Ross műszere nincsen használatban. E műszerek tükrei még fémből készültek, így hamar homályossá vált a reflektáló felületük, optikai leképezésük pedig még a kisebb méretű refraktorok teljesítőképességének is alatta maradt. A tükrös műszerek akkor kezdtek igazán elterjedni, amikor a tükör alapanyagául az üveget kezdték használni. A múlt század végén Common az USA-ban, Lassel pedig Máltában állított fel nagyobb méretű reflektorokat. A szó szoros értelemben vett óriástávcsövek jelenleg főként az Egyesült Államokban működnek.

A reflektorok előnyei a lencsés eszközök felett igen számottevőek. Míg az akromatikus lencsék csiszolásánál négy üvegfelületet kell optikailag megmunkálni, addig a tükörnél csupán egyet. Nagy előny az is, hogy az égitest fénye nem hatol be az üvegbe, így elnyelési veszteség sem lép fel. Ugyancsak ez okból a tükör üvegkorongja tetszőleges vastagságra önthető. Ezáltal viszont az üveg stabilitása is növelhető, ami lehetővé teszi a nagy átmérőjű tükrök készítését. A tükrök leképezési hibái viszont megfelelő korrekciós lencsékkel kiküszöbölhetők.

Az alábbi táblázatban összefoglaltuk a legnagyobb tükrös távcsövek adatait. A táblázat 150 cm átmérőig adja a műszereket. Az első rovatban a távcső felállítási helyét, a másodikban a tükör centiméterekben megadott átmérőjét, a harmadikban a méterekben mért gyűjtőtávolságot, a negyedikben a gyártó céget (vagy konstruktőrt) tüntettük fel.

Csillagvizsgáló	Átmérő	Fókusz	Gyártmány
Mt. Palomar. USA.	508 cm	16,5 m	Braun Westinghouse. 1943.
Mt. Hamilton (Lick. USA.)	305 cm	15,2 m	Technologica Inst. California. 1954.
MT. Wilson. USA.	254 cm	12,7 m	Richey. 1917.
Mc Donald. USA.	208 cm	8,1 m	Werner & Swaesey. 1939.
Berlin. Németország	200 cm	2,3 m	Zeiss. Építés alatt.
Radcliff. Dél-Afrika.	198 cm	? m	Grubb.
Dunlop. USA.	188 cm	15,6 m	Grubb. 1933.
Mt. Stromolo. Ausztrália.	188 cm	? m	? 1954.
Victoria. Kanada.	183 cm	8,9 m	Werner & Swaesey. 1919.
Perkins USA.	175 cm	7,5 m	Werner & Swaesey. 1937.
Harward. USA.	155 cm	7,7 m	Paecer. 1932.
Harward. USA.	155 cm	8,0 m	Common. 1900.
Bleomfontain. Dél-Afrika.	152 cm	7,9 m	Common-Phaecer. 1933.
Mt. Wilson. USA.	152 cm	7,5 m	Richey. 1938.
Cordoba. Argentina.	152 cm	7,5 m	Werner & Swaesey. 1940.

A táblázatba csak azokat a műszereket vettük fel, amelyek már működnek, vagy szerelés alatt állnak. Így a 4 méteres szovjet és a 3 méteres angol távcső — ezekről közelebbi adat még nincsen — nem szerepel.

Ifj. Bartha Lajos

ID. CSADA IMRE †

SZÁMÍTSUK KI, MILYEN NAP VAN MA!

Sietünk megjegyezni, hogy azt akarjuk kiszámítani, hogy a hét melyik napja, tehát hogy pl. szerda vagy csütörtök van-e ma.

Azt mondhatnónk, hogy az ilyesmit teljesen felesleges *kiszámítani,* csak bele kell néznünk a naptárba, abból azonnal megtudjuk, ha egyébként nem tudnók. De hát nem is ebből a célból kívánjuk megismertetni azt az eljárást, amellyel az ilyen feladatot számítással meg tudjuk oldani, hanem azért, hogy más olyan dátumok hétnapját is meg tudjuk határozni, amelyek olyan évekre szólnak, melyekre nem rendelkezünk naptárral. Kiszámítható tehát pl., hogy a hét milyen napja volt születésünk napja, mondjuk 1884. február 4-e. Vagy: 1848. március 15-e a hét melyik napja volt; vagy: ellenőrizhetők a történelem-írók, vagy az utazás-leírók adta dátumok is, ha azok a hét napját is megadták.

A számítások szabályát kétféleképpen lehet megadni, éspedig 1. mennyiségtani képlettel, 2. szavakkal elmondani a számítási eljárást.

1. A mennyiségtani képlet rendkívül röviden tudja leírni a követendő eljárást, a végzendő számítás menetét. Az olvasó bizonyára tapasztalta már, saját szakmáján belül is, hogy milyen óriási előnyt jelent az, ha valaki a mennyiségtani képletekből tud olvasni; vagy milyen fölényt jelent az, ha valaki a mennyiségtani képletekben kifejezett természeti törvényeket kenyérkereső napi munkájában is fel tudja használni.

A számításunk szabálya képlettel megadva így szól:

$$\left(N + r + \left[\frac{N-1}{4}\right] + \left[\frac{N-1}{400}\right] - \left[\frac{N-1}{100}\right] \right)_7 = \begin{array}{ccccccc} 0, & 1, & 2, & 3, & 4, & 5, & 6, \\ \text{Sz.} & \text{V.} & \text{H.} & \text{K.} & \text{Sz.} & \text{Cs.} & \text{P.} \end{array}$$

Ebben a képletben N jelenti az évszámot, az r pedig azt, hogy abban az évben a dátummal megadott nap hanyadik napja *annak* az évnek. Ennek kiszámításakor vigyáznunk kell arra, hogy az illető év közönséges év-e, vagy szökőév.

A szögletes zárójel műveletet jelent. Azt jelenti, hogy vegyük a szögletes zárójelbe írt törtszámban foglalt legnagyobb egész számot, vagy ami ugyanaz: vegyük a tört jelölte osztás végrehajtásával nyert hányadosnak csak az egész részét (a tizedestörtet hagyjuk el).

A kerek zárójel és a melléje írt 7-es azt jelenti, hogy vegyük a kerek zárójelbe írt számnak a 7-tel való osztásából származó maradékát.

Ha ez a maradék 0, akkor a dátum napja szombat volt; ha 1 a maradék, akkor vasárnap, ha 2, akkor hétfőt volt, s így tovább, amint a képlet jobb oldalán felírva találjuk.

Mennyiségtani nyelven ezeket röviden így mondjuk: N jelenti az évszámot, r jelenti, hogy a dátummal megadott nap hányadik napja az N-ik évnek; $[N]$-nel jelöljük az N-ben foglalt legnagyobb egész számot; $(N)_7$ jelenti az $N : 7$ osztás maradékát.

2. Most elmondjuk a végzendő számítás menetét szóval:

Az évszámhoz adjuk hozzá, hogy hányadik napja a szóbanforgó nap ennek az évnek. Ehhez az összeghez adjuk azt az egész számot, amit az 1-gyel megkisebbített évszámnak 4-gyel való osztásakor kapunk. A nyert összeghez adjuk azt az egész számot, amit az 1-gyel megkisebbített évszámnak a 400-zal való

osztásakor kapunk. Az előállott összegből kivonjuk azt az egész számot, amit az 1-gyel megkisebbített évszámnak a 100-zal való osztásakor nyerünk. Az így nyert számot osztjuk 7-tel s megállapíthatjuk az osztás maradékát. Ez a maradék megadja a keresett hétnapot.

Számítási példák

1) A hét melyik napjára esett 1948. március 15-e?

	1948	1947 : 4 = 486
I. hó	31	34
II. hó	29	27
III. hó	15	3
	2013	
	486	1947 : 400 = 4
	4	347
	2503	
	— 19	947 : 100 = 19
	2494 : 7 = 356	947
	39	47
	44	
	2 *hétfő*	

2) A hét melyik napjára esett 1848. március 15-e?

	1848	1847 : 4 = 461
I. hó	31	24 = 7
II. hó	29	7
III. hó	15	3
	1923	
	461	1847 : 400 = 4
	4	247
	2988	
	— 18	1847 : 100 = 18
	2370 : 7 = 338	847
	27	47
	60	
	4 *szerda*	

3) A hét melyik napjára esett 1884. február 4-e?

	1884	1883 : 4 = 470
I. hó	31	28
II. hó	4	= 3
	1919	3
	470	
	4	1883 : 400 = 4
	2393	283
	— 18	
	2375 : 7 = 339	1883 : 100 = 18
	27	883
	65	83
	2 *hétfő*	

4) A hét melyik napjára esett 1918. július 18-a?

	1918	1917 : 4 = 479
I. hó	31	31
II. hó	28	37
III. hó	31	1
IV. hó	30	
V. hó	31	1917 : 400 = 4
VI. hó	30	317
VII. hó	18	
	2117	1917 : 100 = 19
	479	17
	4	
	2600	
	— 19	
	2581 : 7 = 368	
	48	
	61	
	5 *csütörtök*	

Az itt közölt képlet csak a *Gergely*-féle naptárra érvényes, vagyis csak az 1584. okt. 15-e utáni dátumokra alkalmazható.

A képlet baloldalát könnyen emlékezetben is tarthatjuk, csak a jobboldal megjegyzése nehezebb. Én a következőképpen tudtam egész jól megjegyezni: az 1-es maradékhoz tartozó nap nevének a kezdő betűjét kapom, ha ezt az 1-est felfordítom így:

(vasárnap)

A többi nap sorszám szerint halad.

Augusztusban jelenik meg az „ÉLET ÉS TUDOMÁNY KISKÖNYVTÁR“ második kötete:

AZ ŰRHAJÓZÁS

A könyv ismerteti az asztronautika napjainkig elért legfontosabb eredményeit, közeli feladatait, problémáit és távolabbi kilátásait

A könyvet a Társadalom- és Természettudományi Ismeretterjesztő Társulat Asztronautikai Bizottságának tagjai írták.

Az érdekes mondanivalót 48 oldal képanyag és számos szöveg közti ábra illusztrálja

A nagy érdeklődésre való tekintettel már most jegyezze elő a Gondolat Kiadónál: Budapest, VI., Révay utca 16

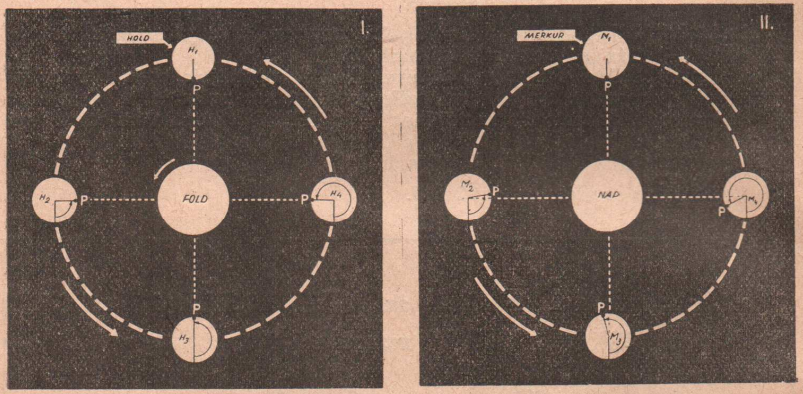
Ára: 10,— forint

ZERINVÁRY SZILÁRD

NEM TELJESEN KÖTÖTT A MERKUR TENGELYFORGÁSA

A Föld két legfontosabb mozgása a tengelyforgása és a Nap körüli keringése. A tengelyforgás ideje 23 óra 56 perc és 4 másodperc, a napkörüli keringés ideje pedig 365 nap 5 óra 48 perc és 46 másodperc. A két mozgás időtartama tehát különböző. Az ilyen bolygó tengelyforgását kötetlennek nevezzük.

Naprendszerünkben azonban több olyan égitestet ismerünk, amelyeknek a keringési és tengelyforgási ideje megegyezik egymással. Ezeknek az égitesteknek a tengelyforgását kötöttnek nevezzük. Jó példa erre a Hold, melynek tengelyforgási ideje megegyezik az egyszeri földkörüli keringés idejével. De nemcsak a mellékbolygók világában találunk példát a kötött tengelyforgásra. Hiszen a bolygók közül a Merkurt mind ez ideig úgy tartottuk számon, mint amelynek a tengelyforgása kötött. A szakkönyvekben úgy olvashatjuk, hogy a Merkur keringési, illetve tengelyforgási ideje 87 nap 23 óra 16 perc, vagyis 87 970 földi nap. (32. sz. ábra.)



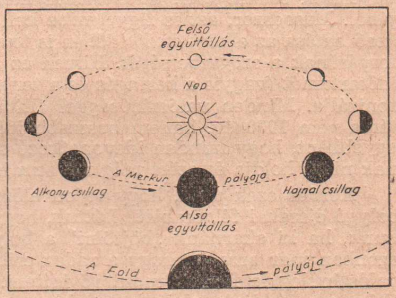
32. ábra. Mi a különbség a Hold (I) és a Merkur (II) tengelyforgása közt?
I. Amíg a Hold egy keringést végez, azalatt egyszer megfordul a tengelye körül. Ezért a *P*-vel jelzett felszíni pontja mindig szembe kerül a Földdel
II. A Merkur tengelyforgása valamivel gyorsabb, mint a keringése. Emiatt a *P* felszíni pontnak a Földhöz viszonyított helyzete eltolódik. Az ábrán a *P* pont eltolódása a szemléletesség kedvéért erősen túlzott

A Merkur kötött tengelyforgását a csillagászok azzal magyarázták, hogy ez a bolygó van a legközelebb a Naphoz és emiatt a Nap tömegvonzása fékezőleg hatott a Merkur tengelyforgására. Ezt a fékező erőt a szakirodalomban árapálykeltő erőnek nevezik. A csillagászok kimutatták, hogy az árapálykeltő erő fordítva arányos a két égitest tömegközéppontjait egymástól elválasztó távolság köbével. Ha például egy csillag körül két bolygó kering és az egyik bolygó háromszor közelebb van a csillaghoz, mint a másik, akkor a közelebbi bolygóval szemben 3^3-ször, vagyis 27-szer erősebben nyilvánul meg az árapálykeltő erő fékező hatása, mint a másik bolygóval szemben. Ha figyelembe vesszük, hogy a Merkur 57,8, a Föld pedig 149,5 millió km középtávolságban kering a Naptól, akkor megállapíthatjuk, hogy a Merkur kereken 2,6-szer közelebb van a Naphoz, mint a Föld. Ennek megfelelően a Merkurral szemben érvényesülő árapálykeltő erő $2{,}6^3$-ször, vagyis 17,6-szer nagyobb, mint a Földdel szemben érvényesülő hasonló erő. Ezek alapján könnyen érthető volt, hogy a Merkur tengelyforgása az idők folyamán kötötté vált.

Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy a Merkur egyenlítői pontjai nem végeznek rotációs mozgást a térben. Hiszen a Merkur is forog a tengelye körül, csak abban különbözik a Földtől, hogy a tengelyforgási ideje megegyezik a keringési idejével. A Föld egyenlítői pontjai 464 méter utat tesznek meg egy másodperc alatt a tengelyforgás következtében. Ekkora tehát az egyenlítői pontok úgynevezett lineáris sebessége. Ugyanezt a sebességet kiszámíthatjuk a Merkur egyenlítői pontjaira vonatkoztatva is. A Merkur egyenlítőjének kerülete 16 200 km. Másrészről figyelembe véve, hogy a bolygó egyenlítői pontjai kereken 88 nap alatt tesznek meg egy teljes körutat, a Merkúr egyenlítői pontjainak a rotációból adódó lineáris sebességére 0,002 km/sec, vagyis 2 méter/sec érték adódik.

Ezzel nagy vonalaiban elmondtuk azt is, amit a bolygó tengelyforgásáról eddig tudtunk. Egy újabb megfigyelési eredmény alapján azonban bizonyos fokig revideálnunk kell a Merkur tengelyforgásával kapcsolatos álláspontunkat. A Pic du Midi obszervatórium kutatói ugyanis a közelmúltban megállapították, hogy a Merkur bolygó tengelyforgása sem teljesen kötött, mint ahogy azt régebben gondoltuk. Az érdekes felfedezés előzményei röviden a következők.

A Pic du Midi obszervatóriumban még 1942—1944 között nagyszámú fényképfelvételt készítettek a Merkurról az ottani 38, illetve 60 cm-es refraktorok segítségével. A felvételek alapján egy új, az eddigieknél (*Schiaparelli, Lovell* és *Antoniadi* térképeire gondolunk!) pontosabb térképet készítettek a kutatók a bolygó látható félgömbjéről. Mi ugyanis csak a bolygó egyik félgömbjét ismerjük. Erről meggyőzhet bennünket a 33. sz. ábra. Ha meggondoljuk, hogy a bolygó mindig ugyanazon félgömbjét fordítja a Nap felé, akkor megállapíthatjuk, hogy alsó együttállás idejében nem az a félgömbje esik felénk, mint felső együttállás idejében. A mellékelt ábra azonban arról is meggyőz bennünket, hogy ezt a félgömbjét, illetve az azon levő felszíni képződményeket nem láthatjuk, tekintettel arra, hogy ezt a félgömböt nem világítják meg, vagyis nem teszik láthatóvá számunkra a napsugarak. Az éjszakai félgömb hőmérsékletét meg tudjuk mérni (a mérések — 265 C°-ot adtak eredményül), de a felszíni képződményeit nem ismerhetjük meg. Közbevetőleg megjegyezzük, hogy a radar csillagászati alkalmazása a remélhetőleg nem is olyan távoli jövőben lehetővé fogja tenni, hogy ezt a félgömböt is „letapogassuk" és letérképezzük. Erre a kérdésre különben még visszatérünk.



33. ábra. Így látjuk a Merkur fázisait pályájának különböző pontjaiban

A Pic du Midi obszervatóriumban készített új Merkur térképen 28 felszíni képződmény látható. De nem ez az érdekes, hanem az, hogy az elmúlt fél évszázad alatt a bolygó egyes felszíni részleteinek a merkurográfiai (a geográfiai szó analógiájára) helyzete észrevehetően megváltozott. A kutatók ugyanis összehasonlították egymással az 1942. évben készült, illetve a *Schiaparelli* által 1889-ben rajzolt térképeket. Munkájuk során megállapították, hogy a Merkuron látható és egymással azonosított képződmények merkurográfiai hosszúsága kereken 10°-kal változott meg időközben. Ez a megállapítás elég volt ahhoz, hogy a kutatók kiszámítsák az egyszeri keringés és tengelyforgás időtartamának a különbségét. Ezt a számítást könnyen követhető, egyszerűsített alakban bemutatjuk az olvasóknak.

Induljunk ki abból, hogy 1889—1942 között 53 év, vagyis kereken 19 360 nap telt el. Másrészről említettük azt is, hogy a Merkur keringési ideje 88 nap. Egyszerű osztással meggyőződhetünk arról, hogy az 1889—1942 között eltelt 53 év alatt 220 keringést végzett a bolygó a Nap körül. Ezek szerint a 10°-os eltérés 220 keringés folyamán halmozódott fel. Ebből egy keringésre 2,7 szögperc esik. Ez a 2,7 szögperc a bolygó egyenlítőjének 1/8000-ed részével egyenlő.

Ezzel eljutottunk a számításunk utolsó üteméhez. Kérdés, hogy mennyivel egyenlő a 88 napos keringési idő 1/8000-ed része. A két számra vetett futólagos pillantás alapján is megállapíthatjuk, hogy a mi esetünkben szó sem lehet napokról, vagy órákról: legfeljebb percekről beszélhetünk.

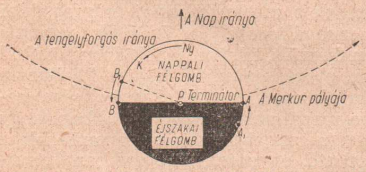
A számítást elvégezve 15,8 percet kapunk eredményül. Láthatjuk tehát, hogy a keringés és a tengelyforgás időtartama közötti különbség 16 perc körül mozog.

Mindez azt jelenti, hogy a bolygó tengelyforgása — ha szigorúan kezeljük a dolgot — nem tekinthető mégsem teljesen kötöttnek. Viszont ebből következik az is, hogy a terminátor vonala (a nappali és az éjszakai félgömb határvonala) a bolygó felszínén nyugati irányban fokozatosan eltolódik. Ahhoz, hogy a Nap a jelenlegi éjszakai félgömböt világítsa meg, nyilván annyiszor 53 év szükséges, ahányszor nagyobb a 180° a 10°-nál, tekintettel arra, hogy ez az állapot 180°-os szögelfordulás esetében következik be. Ebből következik, hogy:

53,18 = 954, vagyis kereken ezer év múlva válik nappali félgömbbé a jelenlegi éjszakai félgömb. Ezt a számot azonban mindenféleképpen csak nagyságrendi számnak tekinthetjük. Ennek két oka van. Először is további pontos megfigyelések szükségesek az eltolódás mértékének még pontosabb tisztázása céljából. Másodszor, azt is figyelembe kell vennünk, hogy az árapálykeltő erő fékező hatása az elkövetkező időben is tovább fogja csökkenteni a bolygó tengelyforgásának a szögsebességét. Hiszen ez az erő arra irányul, hogy a két mozgás időtartamát (vagyis a keringés és a tengelyforgás időtartamát) tökéletesen szinkronizálja. Minden valószínűséggel állíthatjuk tehát, hogy ez a 180°-os szögeltérés nem 1000 év, hanem hosszabb idő alatt fog végbemenni. Megjegyezzük egyébként, hogy minden idevonatkozó számítást megnehezít az, hogy a bolygónak nincs holdja és ezért még ma sem ismerjük egészen pontosan a tömegét.

Kérdés ezek után, hogy vajon előreláthatólag mikor fogjuk megismerni a bolygó éjszakai félgömbjét? Láttuk, hogy körülbelül ezer évig kellene erre várnunk, ha ki akarnánk „böjtölni" a bolygó 180°-os szögelfordulását. Utaltunk azonban már arra is, hogy a radar csillagászati alkalmazása révén ezt az időt valószínűleg le fogjuk tudni rövidíteni. Hiszen a radar fejlődése igen gyors. Előre megjósoljuk tehát, hogy ebben a versenyben az emberi technika fog győzni. Mire a bolygó „rászánja" magát, hogy 180°-kal elforduljon (a Naphoz viszonyítva), addig már régesrég le fogjuk térképezni radarral az éjszakai félgömbjét.

Az eddig mondottakból egy érdekes további következtetést vonhatunk le. Amennyiben ugyanis szigorúan kezeljük a kérdést, kiderül, hogy a bolygó nyugati és keleti terminátorának a vidéke nem azonos hőmérsékletű. Ezt a 34. sz. ábránk szemlélteti. Az ábrán *P*-vel a bolygó északi sarkát, *AB*-vel pedig a jelenlegi terminátor vonalát ábrázoltuk. Felvetődik tehát a kérdés, hogy melyik pontban magasabb a bolygó hőmérséklete: az *A* vagy a *B* pontban?



34. ábra. Melyik terminátor közelében magasabb a hőmérséklet a Merkuron? (I. a szöveget)

Ha figyelembe vesszük, hogy a bolygó tengelyforgása direkt (vagyis nyugat—keleti) irányú, könnyen választ adhatunk erre a kérdésre. Haladjunk csak gondolatban visszafelé a bolygó múltjába és azonnal világossá válik előttünk, hogy

az *A* és *B* pontok helyzete bizonyos idővel napjaink előtt nem egyezett meg a jelenlegivel. Eszerint az *A* pont az A_1-gyel, a *B* pont pedig mondjuk valahol a B_1-gyel jelölt helyzetben volt a Naphoz képest. Ilyen módon a *B* pontot a múltban nagyobb szög alatt érték a napsugarak, mint jelenleg. A *B* pont tehát még feltehetőleg bizonyos maradék hőmennyiséget őriz azokból az időkből. Ezzel szemben az *A* pont a múltban A_1 helyzetben, vagyis a bolygó éjszakai félgömbjén volt. Ez a pont egyre nagyobb szög alatt részesül a Nap sugaraiban. Mindezt egybevetve a *B* pontban lehűlés, az *A* pontban pedig felmelegedés folyik, vagyis a *B* pont környéke valamivel magasabb hőmérsékletű, mint az *A* ponté.

A kérdéssel kapcsolatban még egy újabb felfedezésről is megemlékezünk. A Pic du Midi obszervatórium kutatói azt is megállapították, hogy 1889—1942 között az egyes felszíni képződmények merkurográfiai szélessége is észrevehetőleg megváltozott. A képződmények szélességváltozását figyelembe véve a csillagászok kiszámították, hogy a bolygó egyenlítőjének síkja 7°-os szöget zár be pályasíkjával. Ennek a hajlásszögnek az értéke napjainkig ismeretlen volt. Összehasonlítás céljából egyébként megemlítjük, hogy a Föld pályasíkja és egyenlítői síkja 23° 27'-es szöget zárnak be egymással.

Végül megemlítjük, hogy az ebben a rövid beszámolónkban közölt adatokat csak a közelmúltban publikálták a Pic du Midi obszervatórium kutatói. Az 1942—1944 között készített felvételek pontos kimérése, az 1889. évi térképpel való egybevetése és az új Merkúr-térkép megrajzolása ugyanis huzamosabb időt vett igénybe. Ezt az időt meghosszabbította az is, hogy az obszervatórium sokoldalú munkaprogramja miatt a kutatók természetesen nemcsak ezzel az egyetlen kérdéssel foglalkoztak az elmúlt évek során.

Március elseje óta ismét megjelenik a

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

a régi, nemes hagyományokkal rendelkező ismeretterjesztő havi folyóirat. Tájékoztat a természettudományok: a biológia, fizika, csillagászat stb. új eredményeiről

A minden hónapban 25.-e és 30.-a közt megjelenő 48 oldalas számot bő és érdekes képanyag gazdagítja

Egyes szám ára 5.— forint, előfizetési díj fél évre 30.—, egész évre 50.— forint

Előfizethető a Posta Központi Hírlapirodánál a 61.282. csekkszámon (a csekk hátlapján tüntesse fel: Természettudományi Közlöny!)

Utcai árusoknál is kapható!

A következő szám tartalmából (5. szám, 1957 július):

Linné
Kertet a városba
Piezoelektromos kristályok
Az ember egysejtű ellenségei
Eredmények, tervek kőolajfeldolgozó iparunkban
Paricutin — a Föld legfiatalabb vulkánja
Több tiszteletet az élet iránt
A kémia helyzete hazánkban 150 évvel ezelőtt
Gépírás és a feltételes reflexek

HORVÁTH ÁRPÁD

PIERRE SIMON LAPLACE

(1749—1827)

A megfigyelő, kísérletező természettudományok fejlődése a XVIII. században nagy lendületet vett. A tudomány eredményeit átvette az ipar, a tengerhajózás, kereskedelem; a mikroszkóp és távcső új távlatokat, a kicsiny és nagy világát nyitotta meg az ember előtt. A matematika módszereinek finomodása a jelenségek leírását tette szabatosabbá.

A tudományban és iparban egyaránt nagy lépések történtek. A század elején megindult Newcomen atomoszférikus gőzgépe, majd a század végén Watt gépei kezdtek dübörögni a bányák és gyárak telepein. Fahrenheit megszerkesztette a higanyos hőmérőt, Franklin feltalálta a villámhárítót, Harrison tengerész kronométerével biztonságosabbá tette a nyílttengeri hajózást és pontosabbá a geodéziai méréseket. Saussure feltalálta a hajszálhigrométert, Musschenbroek a fémek hőtágulásának törvényeit kutatta: Lomonoszov és Lavoisier felfedezték az anyag megmaradásának törvényeit; Linné megalkotta a természet mesterséges rendszerét, az elektromosság és elektrokémia megtették első lépéseiket a nagyipari kibontakozás felé.

A XVIII. és XIX. század fordulójának legnagyobb megfigyelő csillagásza Herschel. Ő fedezte fel a tudomány számára a világegyetemet, az állócsillagok világát. Hóban, fagyban, télen-nyáron a tudomány megszállottjaként ült óriási távcsövei mellett és diktálta nővérének megfigyelése eredményeit s munkájával új távlatokat nyitott az univerzumban.

Egy másik lángeszű csillagász, Pierre Simon Laplace, egészen másképpen dolgozott. Ő az elmélet embere. Dolgozószobájában ül, selyemharisnyás lábait kényelmesen egymásraveti és lúdtolla perceg a finom fehér, merített papíron. Alig-alig néz fel a csillagos égre. Az elmúlt korok megfigyelőinek feljegyzéseiből, a számok tengeréből hámozza ki, tisztán a matematika segítségével, a legragyogóbb felfedezéseit. Eredményei évszázadokra mutatnak utat.

Herschel és Laplace ideje a felvilágosodás kora. Ekkor szerkeszti a matematikus D'Alembert és a filozófus Diderot, a híres Enciklopédiát és a híres nagy munka körül tevékenykedő tudósok, az „enciklopédisták" megindítják a támadást a tűnőben levő kor teologizáló felfogásával szemben, a természettudományi világkép kialakításáért.

Ennek a kornak egyik igen jellegzetes alakja Laplace. Évszázados, bonyolult kérdéseket old meg, olyanokat, amelyek még a nagy Newtonnak is szinte megoldhatatlannak tűntek. Művei ma is teljes értékű tudományos munkák s jól értsen a matematikához és elméleti fizikához, aki könyveit forgatni akarja.

Élete sikerekben gazdag, de — mint kora általában — nem nélkülözi az ellentmondásokat sem.

1749. március 23-án született az alsó-normandiai Beaumont-en-Auge-ban, a La Manche-csatorna melletti községben, Franciaországban.

Életrajzát többször megírták, műveit ismételten kiadták, de ezek a művek nem nyújtanak egyöntetű képet a nagy tudósról, szinte minden író másként állította be, kora felfogásának szellemében. Nagy kár, hogy az életére vonatkozó eredeti okmányok ma már nem lelhetők fel.

Születésére, családjára, ifjúkorára vonatkozó családi és egyéb okmányok 1925-ben elégtek, késői leszármazottjának, Comte de Colbert Laplace-nak a kastélyában, egy tűzvész alkalmával. Későbbi munkásságának dokumentumai, kéziratainak egy része pedig a második világháború bombázásai alatt pusztult el.

Ő maga gyermekkoráról, ifjúkoráról nem sokat beszélt, származását nem emlegette. Talán emberi gyengeségből, talán politikai karrierje érdekében hagyta, hogy fiatal évei homályban maradjanak. Életrajzírói általában, mint

földhözragadt szegényparaszt gyermekről emlékeznek meg róla, akit a szomszédok könyörülete nevelt fel, de Edmund Whittaker matematikus tudománytörténész kutatásai szerint, szülei jómódú kisbirtokosok, a francia terminológia szerint falusi burzsoák voltak. Szellemi életének irányítását egy orvos és egy lelkész nagybátyja végezték. Papot szerettek volna faragni belőle, amire kezdetben hajlandóságot mutatott ő maga is, csak később vonta el érdeklődését a teológiától a matematika.

A matematika iránti érdeklődése a Beaumont-i bencésgimnáziumban ébredt fel. Egészen fiatal diákkorában tanulmányt írt a felsőbb matematika köréből, ami később meg is jelent Louis Lagrange tudományos folyóiratában.

16 éves korában került a caeni egyetemre, ahol már teljesen a matematikának szentelte minden idejét.

18 éves korában ment Párizsba. D'Alembert-hez, a nagy matematikushoz szeretett volna fordulni, hogy karolja fel ügyét, de a tudós nem fogadta, a hozzáküldött előkelőségek ajánlóleveleit visszautasította.

Laplace ekkor félretette a hangzatos ajánlásokat és egy, a mechanika alapelveiről írott tanulmányát küldte el D'Alembert-nek. Ezt az „ajánlást" már elolvasta a nagy ember és így válaszolt a fiatal matematikusnak.

„Uram, amint látja, előbbi ajánlóleveleit figyelmen kívül hagytam, most látom, önnek nincs szüksége ilyenekre. Amit ön itt bemutat nekem, elég ahhoz, hogy tudjam, mi a kötelességem."

A fiatalember tanulmányának színvonala, hatalmas tudást és műveltséget elárulóló felépítése annyira megnyerte D'Alembert tetszését, hogy a fiatalembert beajánlotta a királyi katonai iskolához matematika tanárnak s Laplace az állást azonnal el is foglalta.

Iskolai működése mellett elegendő ideje maradt tudományos kérdésekkel foglalkozni s ettől kezdve egyik tanulmányát a másik után küldte be a tudományos akadémiának. „Sohasem láttuk még, hogy valaki ilyen fiatalon, ilyen sokfelé ágazó nehéz problémáról értekezett volna, mint Laplace", jegyezte fel róla egyik matematikus kortársa.

Működését jobban megértjük, ha röviden áttekintjük a kor tudományos — csillagászati — világképét, problémáit.

Newton, mikor az általános nehézkedés törvényét levezette, több kérdést hagyott nyitva.

Sajátságos kép alakul ki bennünk Newton szellemi arcképéről, ha műveit eredetiben tanulmányozzuk. Ezeknek a műveknek nehézkes nyelvezete, ma már nagyon szokatlan logikai felépítése lehet az oka annak, hogy még a legjobb Newton-életrajzok sem nyújtják azt, amit kellene. A szerzők másod- és harmadkézből veszik értesüléseiket és így sokszor nem tiszta a kép, amit az „emberiség díszé"-ről kapunk.

Kiderül például Newton műveiből, hogy mennyire erősen teológiai beállítottságú volt, mint kortársai közül nagyon sokan. A megoldatlan, az akkori matematikai apparátussal nem magyarázható, egyszóval a kor számára érthetetlen jelenségekben gyakran isteni befolyást keresett. A bolygómozgásoknál például Newton ismételten feltételezte, hogy a háborgások, a bolygók mozgásának — akkoriban — matematikailag nem követhető jelenségei csak úgy igazodnak ki, ha egy felsőbb lény közvetlenül belenyúl a naprendszer mechanizmusába és helyreigazítja az összezavarodni készülő szerkezetet.

A XVIII. század második felében megoldatlan feladat bőven volt.

Hiányzott például a Hold mozgásának pontos leírása. Edmund Halley évszázadokra visszamenően kiszámította a holdfogyatkozásokat és úgy találta, hogy a megfigyelt időadatok nem egyeznek a kiszámítottakkal. A régi korok napórái, víziórái elég tűrhető pontossággal szolgáltattak adatokat a fogyatkozásokról, azonkívül több megfigyelő és krónikaíró egykorú feljegyzései rendelkezésre ál-

lottak s így semmi kétség nem lehetett aziránt, hogy a Hold nem úgy mozog, ahogy a számításokból adódóan kellene.

A bolygómozgásokkal is sok baj volt. Newton felállította tételét, amely szerint a bolygókat nemcsak a Nap vonzza, hanem egymásra is hatással vannak. Ezzel azonban a csillagászat problémái nem kevesbedtek, hanem szaporodtak. Ebből adódott például a híres háromtest probléma is, ami tudvalevően abból áll, hogy három, egymást vonzó test kering a térben s ezeknek a helyzetét kell megadott időpontra előre kiszámítani. A kérdést, mint tudjuk, a mai napig sem oldották meg kielégítően, pedig hát a naprendszerben nem három, hanem n számú test problémájáról van szó.

Úgy látszott, Kepler törvényei sem érvényesek teljes szigorúsággal. A perturbációk a megfigyelések szerint időnként kizökkentik a bolygórendszer tagjait kiszámított pályájukról s minthogy más megoldást nem tudtak elképzelni, úgy gondolta és írta le Newton, hogy időnként az angyalok belenyúlnak a naprendszerbe és helyreigazítják a rendetlenkedő égitesteket.

Problematikusnak látszott a precesszió jelensége is. Már Hipparchosz felfedezte a napéjegyenlőségi pontok hátrálását — precesszióját — amit Kopernikus dinamikai alapon magyarázott, de érvei nem voltak meggyőzőek.

Bradley felfedezte a nutációt, a földtengely ingadozását, a búgócsiga tengelyéhez hasonló mozgását. Newton a jelenséget azzal magyarázta, hogy Földünk alakja nem tökéletes gömb, ezért „bólogat" a tengelye. Bizonyítani azonban nem tudta feltevését. D'Alembert matematikai úton levezette, hogy a földtengelynek 26 000 éves körforgásnak kell lennie, vagyis a Föld tengelye 26 000 évenként mutat ugyanazon állócsillagra. (Jóval később, az egyiptomi piramisok tanulmányozásakor kiderült, hogy az egyik lejárati folyosó tengelye az építéskor a Sarkcsillagra mutatott, jelenleg pedig más — kiszámítható — irányban van. Az elmozdulás mértékéből az építés idejére, illetve a történelmi adatokból a Sarkcsillag régi helyére lehetett következtetni.)

Sok gondot okoztak a csillagászoknak az üstökösök is. Galilei még a Földről felemelkedett égő gáztömegnek tartotta az üstökösöket. Halley bebizonyította, hogy az üstökösök érkezési ideje előre kiszámítható, de a megfigyelések és a számítások adatai nem egyeztek.

1758-ban Clairaut bebizonyította, hogy az üstökösök a Jupiter és Szaturnusz vonzása miatt háborgást szenvednek pályáikon. Így a Jupiter 518, a Szaturnusz 100 napos késést okoz és megjósolta, hogy 1759-ben kell újból megjelenni Halley üstökösének, ami valóban be is következet. Ez a siker a csillagászat népszerűségét nagyon növelte.

Sok fejtörést okozott a Hold mozgása is.

Cassini, kora egyik leghíresebb olasz — de Franciaországban élő — csillagásza felfedezte, hogy a Hold pályasíkja és egyenlítői síkja egybeesik. Megfigyelték azt is, hogy a Hold túlsó feléből a jobb- és balszélen időnként egy keskeny csík látható. A jelenséget librációnak nevezték el, már Galilei is megfigyelte, de helyesen magyarázni nem tudta. Úgy látszott, hogy a Hold a 28 naponkénti egyszeri tengelyforgáson kívül, még egy keveset fordul jobbra-balra.

Első pillanatban különösnek tűnik, hogy a Hold is végez tengelyforgást, de tudjuk, hogy éppen azért, mert mindig egyik felét fordítja felénk, a Földet körülkeringve kénytelen egyszer saját tengelye körül is megfordulni.

A libráció oka az, hogy a Hold tengelyforgása egyenletes, de a Föld körül — bár kicsiny excentricitású — ellipszisen kering és ahogy közelebb vagy távolabb jut a Föld tömegközéppontjától, jobban, vagy kevésbé elfordultnak látszik.

Beszélünk függőleges librációról is, ami abból adódik, hogy a Hold tengelye nem pontosan merőleges a Föld pályasíkjára s így a keringés közben ugyancsak bólogató mozgást látszik feltüntetni.

A librációra számos elméletet állítottak fel, legérdekesebb Lagrange-é, aki a Holdnak ellipszoid alakot tételezett fel, amely a nagytengelyével a Föld felé mutat.

Laplace a csillagászat és fizika rendezetlen kérdéseit óriási matematikai készséggel készült kibogozni, de közben nem feledkezett meg a társadalmi érvényesülésről sem.

Kevésen múlt, hogy nem került Nagy Frigyes berlini akadémiájába, ahova D'Alembert ajánlotta, de mielőtt ez megtörtént volna, 1774-ben, 25 éves korában, a francia akadémia, mint „membre adjoint"-t választotta meg, majd 1785-ben rendes taggá lépett elő.

Időközben kinevezték a királyi tüzérségi tanintézetek legfelsőbb examinátorává — szakfelügyelőjévé — majd 1794-ben az École normale-hoz került, az analízis tanáraként.

Erre az időre esik a fizika területén végzett munkássága is, mégpedig a híres Lavoisier-val. Hőtani vizsgálatokat végeztek s ezek során jégkalorimétert szerkesztettek s megállapították, hogy egy kg jég elolvasztásához (tehát, hogy 1 kg 0°-ú jégből 1 kg 0°-ú víz legyen) 75 kalória szükséges. (Ötöt tévedtek, nyolcvan szükséges.) Mondani sem kell, hogy akkor még nem kalóriákban, Celsius fokokban stb. mértek, ezért mérési eredményeiket ma át kell számítani.

Foglalkozott a hang terjedéssebességének megmérésével is, majd a fémek hőtágulásának kérdését tanulmányozta. A híres párizsi órásmester — Ferdinand Berthoud — kísérleteit fejlesztette tovább. Ólomkádban elhelyezett, egyik végén rögzített rúd hőtágulását úgy vizsgálta, hogy a rúd másik végén levő emeltyűn távcső volt elhelyezve és a táguló rúd elmozgatta az emeltyűt és vele a távcsövet. A távcsővel távoli mércerudat lehetett figyelni s a távcső fonalkeresztjének a rúdon történő elmozdulásából ki lehetett számítani a rúd hosszváltozását.

Munkatársát, egyik legjobb barátját, a francia forradalom vihara elsöpörte, Lavoisier vérpadon fejezte be életét.

Laplace a forradalom alatt buzgó republikánussá vált. Amikor Napóleon csillaga feltűnt, kiderült, hogy Bonaparte-t mint fiatal tüzérnövendéket ismerte, s — annak idején — matematikai készségéről elismerően nyilatkozott. Az egykori tüzérnövendék és a tanulmányi felügyelő barátsága belügyminiszterséget adott Laplace-nak, de sok dicsőséget ezen a pályán nem aratott, mert — mint Pascal mondta — „a matematikusok elvesztik lábuk alól a talajt, mihelyt olyan térre vetődnek, hol tudományuk tiszta és félremagyarázhatatlan elvei nem találnak megfelelő alkalmazást". Egyszóval, mint belügyminiszter megbukott, hivatalát át kellett adnia.

1803-ban a szenátus kancellárja lett, 1808-ban pedig a császárság grófja.

Napóleon kegyeltje, a császárság grófja 1814-ben Napóleon detronizálása mellett szavazott, ami után XVIII. Lajos király hamarosan kinevezte Franciaország pairjévé, majd márkivá tette és kitüntette a becsületrend nagykeresztjével.

Mint történelmi anekdotát mesélik, hogy Napóleon szóvátette előtte, hogy csillagászati tanulmányai során az isteni beavatkozást sehol sem említi, amire ő azt válaszolta volna: erre a tényezőre nincs szükségem.

Nem is felelhetett mást, hiszen éppen ő bizonyította be kutatásaival, hogy az égi mechanizmus háborgásai, zavarai nem azért egyenlítődnek ki, mert az angyalok közbenyúlnak, hanem azért, mert a bolygómozgások zavarai nem összegeződnek, hanem periodikus jelenségek, amelyek szigorú természeti törvények következményei.

Laplace-t és kortársát, Lagrange-t, úgy tekintik, mint akik betetőzték a materialista mechanisztikus filozófiát. Eszerint a természet minden jelenségét mechanikai törvények irányítják, tehát magától értetődő volt Laplace-nak a válasza, amely mint mondottuk, csak tudománytörténeti anekdota és Laplace til-

takozása ellenére került bele egy, még életében megjelent életleírásába és azóta is vele kapcsolatban mindig idézik.

Jelleméről kortársai nem a legkedvezőbben emlékeztek meg. Nemcsak politikai szereplését nem helyeselték, hanem szóvátették azt is, hogy műveiben felhasználta, idézte kortársainak munkáit, eredményeit anélkül, hogy nevükről megemlékezett volna. Főleg Lagrange-tól vett át sokat, nevének megemlítése nélkül.

A kistermetű, jelentéktelen külsejű Laplace hat évtizeden át dolgozott megszakítás nélkül. Munkásságát a következőkben tekinthetjük át egészen röviden, megjegyezve, hogy dolgozatai között igen sok van olyan, amelyről nehéz eldönteni, hogy csillagászati, fizikai, vagy inkább matematikai eredményei miatt nagyobb-e? Leghelyesebb, ha úgy fogjuk fel, hogy egyes munkáiban a csillagászat s mechanika csak felvetette a problémát, amit új matematikai módszerekkel dolgozott ki.

Munkássága kezdetén sokat foglalkozott az árapály jelenségével. Érdekes, hogy Galilei annak idején a Föld forgása és napkörüli keringésének bizonyítására akarta az árapály jelenségét felhasználni s éppen ez a tétele hibás volt. Abból indult ki, hogy a pályáján keringő Föld forgása közben a külső — Naptól távolabbi — oldalán kerületi sebességéhez hozzáadódik a keringés okozta sebesség, belső oldalán pedig levonódik ugyanaz és így kívül meglódul, belül lefékeződik a Földet borító víztömeg. Tudjuk, ez a hatás valóban fennáll, de oly kicsi, hogy nem idézné elő az árapályt.

Brest kikötőjében 20 éven át jegyezték az árapály adatait s ezeknek az adatoknak a felhasználásával kimutatta Laplace az árapály-keltő statikus és dinamikus tényezőket. Számításai annyira megegyeztek a megfigyelési adatokkal, hogy segítségükkel lehetővé vált a kikötőkre előre kiszámítani az ár és apály adatait.

A probléma megoldása nagyon nehéz. (Janvier, egy francia órás, ugyanekkor „árapály-órát" szerkesztett, amely bonyolult kerékművek útján számolta ki a várható árapály adatokat.) Az előrejelzés és számítás azért nehéz, mert a Holdnak mintegy 100-féle mozgása van s ezeket mind számításba venni — elektronikus számológép nélkül — nagyon nehéz, hosszadalmas munka. Tökéletesen pontos eredményt még ma sem kapnak, éppen a bonyolultság miatt. A harmonikus analízisnek nevezett matematikai számolóeljárást éppen a Hold mozgásainak és a tengerjárás tüneményeinek magyarázására dolgozták ki. Ma a „mareográf"-nak nevezett adatjelző és kiértékelő készülékek segítségével történik a tengerjárás előrejelzése. (Rendkívül bonyolult és drága készülék.)

Laplace nemcsak a Hold és a tengerjárás összefüggéseit vezette le, hanem a légköri árapályra vonatkozóan is végzett számításokat. Ez a hatás — tudjuk — igen csekély és az időjárásra aligha lehet befolyással. (A légkör dagálya csak 1/200 mm-es nyomásnövekedést okoz.)

A precesszió jelenségét D'Alembert és Euler kutatták matematikailag. Ezek a kutatók úgy vélték, hogy a Földet borító víztömeg elhelyezkedése befolyásolja a földtengely és az egyenlítő helyzetét. Laplace kimutatta, hogy a víz és a levegő úgy viselkedik, mintha a Föld szilárd kérgének alkotórészei lennének, sőt azt is bizonyította, hogy ha a Föld tengelyének iránya megváltozna, a földfelületet borító víztömeg visszaterelné a földtengelyt eredeti helyzetébe.

A Hold librációjával kapcsolatban kimutatta, hogy a Hold mozgásában ún. évszázados egyenlőtlenségek vannak s ezekből az következik, hogy a Hold lemarad pályáján, tehát egy idő múlva nem ott lesz, ahol a számítás szerint kellene, hanem hátrább. Minthogy a Föld is alá van vetve — Laplace szerint — ilyen évszázados egyenlőtlenségnek, a Hold mindig ugyanazon oldalát fordítja felénk, mert ha nem így lenne, vagyis a Föld mozgása „szabályos" lenne, akkor a Hold lassanként megfordulna és tulsó oldalát mutatná felénk.

A Jupiter mozgását tanulmányozva a csillagászok azt következtették, hogy a Jupiter mozgása gyorsul, a Szaturnuszé pedig lassul. Ebből az következne, hogy a Hold és a Jupiter a Naphoz közelednek, a Szaturnusz pedig távolodik. Legalábbis így magyarázták a csillagászok. Végül a Hold a Földre esne, a Jupiter a Napra, a Szaturnusz pedig kirepülne a naprendszerből a világűrbe.

Ezt a nyugtalanító elméletet a francia tudósok nem szívesen fogadták el s ezért a párizsi akadémia négy éven át a nagydíját a Hold elméletére tűzte ki.

Már Lagrange és Euler is megpróbálkoztak a kérdés megfejtésével, de csak Laplace-nak sikerült kielégítően megoldani.

Szerinte a Föld a Nap körül olyan ellipszispályán kering, amelynek lapultsága változik, növekszik és csökken. Ha a központonkívüliség fogy, a Hold keringésideje növekszik, ha csökken, a keringésidő növekszik.

Laplace arra következtetett, hogy a Hold keringésidejének változásából a lapultság mértéke kiszámítható.

A naprendszer két nagy bolygójának, a Jupiternek és Szaturnusznak, háborgását az okozza — mondta Laplace —, hogy egymást vonzzák. A két égitest nem egyforma sebességgel mozog, egymáshoz képes lassudnak vagy gyorsulnak, és ezek a sebességváltozások 900 éves periódusokban következnek egymás után. Nem összegeződnek tehát a háborgások, mint régebben hitték, hanem periodikusak, a naprendszer tehát állandónak tekinthető. Ezzel megdőlt Eulernek azon feltevése, hogy az égi tünemények a gravitáció segítségével nem értelmezhetők teljes szabatossággal.

A naprendszer állandóságát több tudós kétségbevonta, így Euler és mint mondottuk, Newton is, aki azonban az angyalok közbejöttével vélte a háborgásokat, zavarokat kiigazítani.

Laplace kimutatta, hogy a bolygók ellipszispályáinak nagytengelyei időnként a tér más és más pontjára mutatnak, pályasíkjaik is ingó mozgást végeznek, a földpálya síkjával képzett metszésvonalaik is évenként más és más irányba mutatnak. A pályák hossztengelye azonban állandó és a keringési idővel együtt csak igen kicsiny periodikus változásoknak van alávetve.

Arra is gondolt, hogy a nehézségi erő terjedéssebességét meghatározza. Erre a gondolatra akkor jött, amikor a Hold gyorsulását vizsgálta és mint lehetőséget latolgatta, vajon a gyorsulás oka nem rejlik-e a nehézségerő véges terjedéssebességében. Végül azonban a háborgásoknak, sebességváltozásoknak az okát sikerült megtalálni, úgy vélte, hogy ha a nehézségerő véges sebességgel terjed, ez a sebesség a fény terjedéssebességének legalább ötvenmilliószorosával egyenlő, tehát a naprendszeren belül elhanyagolható.

A Nap és Föld egymástól való távolságának kiszámításához igen sajátságos módon fogott hozzá.

Tobias Mayer német csillagász (a földrajzi hosszúságoknak a holdtávolságok módszerével való kidolgozója) azt ajánlotta, hogy a Hold háborgásainak mértékéből számítsák ki a távolságokat.

Laplace úgy találta, hogy a Hold mozgásában előálló háborgások, minthogy a Naptól származnak, alkalmasak lehetnek a naptávolság kiszámítására. A háborgások számbavehetők, a háborgás és a távolság szigorúan összefüggenek egymással és így a két égitest — Nap—Hold — távolsága kiszámítható a Föld naptávolságával együtt.

Akkoriban a Nap távolságának megmérését még csak a Halley által ajánlott vénuszátvonulásokkal tudták csak szabatosan elvégezni (hazánkfia Hell Miksa a XVIII. század végén a legjobb eredménnyel végezte el ezt a mérést). A naptávolság meghatározása a holdháborgásokból azért volna nagyon előnyös, mert a költséges expedíciókat meg lehetne takarítani, hiszen a Föld bármely pontján végzett megfigyelések adatait fel lehet használni.

A holdmozgások analíziséből a Föld alakjára is fontos adatokat olvasott ki Laplace. A Föld lapultsága befolyással van a Hold mozgására és megfordítva.

Így a Földnek ún. „középlapultsága" kiszámítható, ami a fokmérésekkel szemben némi előnyt nyújt, mert a fokméréseknél a terep adottságai mindig befolyásolják az összeredményt.

A kor neves tudósainak — Buffon és Bailly — elmélete szerint a Föld kihűlése közben összehúzódik s emiatt gyorsabban kell hogy forogjon, tehát a napok hossza rövidül. Laplace rámutatott, hogy az az ív, amelyet a Hold az égboltozaton az alatt az idő alatt megtesz, amíg a Föld egyet fordul tengelye körül, minden időben ugyanazt az értéket mutatta, következésképpen a nap hossza s így a Föld forgásideje állandó.

Foglalkozott a dagálysúrlódás okozta lassúdással és kimutatta, hogy ez évezredenként egy századmásodpercet jelent, tehát ennyivel lassúdik a Föld tengelyforgása.

A Szaturnusz gyűrűjéről Laplace előtt nem tudták, forog-e vagy sem. Ő elméleti úton kimutatta, hogy forognia kell s ezen állítását később a megfigyelések igazolták.

Laplace-t általában jellemezte, hogy minden állítást a legszigorúbb matematikai eszközökkel támasztotta alá. Csak egy esetben tért el ettől az elvétől, amikor híres kozmogóniai elméletét kidolgozta. Az elmélet annyira közismert, hogy ismertetését ezúttal mellőzzük.

További munkássága során foglalkozott még a hajcsövességgel és a valószínűség elméletével is. Tagja volt a méterbizottságnak, amely 1790-ben azt a feladatot kapta, hogy egy változatlan alap-mértékegységet keressen és rendet teremtsen a mértékek zűrzavarában. A probléma régi volt. Huygens a másodpercinga hosszát ajánlotta, de tervét nem fogadták el. Laplace ajánlotta, hogy a Föld délkörének negyvenmilliomodrészét vegyék alapul. Ennek meghatározására indultak meg a nagy fokmérések.

Csillagászati és mechanikai problémák megoldását ötkötetes hatalmas műve, a Mecanique céleste (Az ég mechanikája) tartalmazza. Ez a munka, mint nagy matematikus kortársa, Fourier, mondotta „Ptolomeusét annyival múlja felül, amennyivel a modern analízis az Euklides elemeit szárnyalja túl".

Ezt a művet ismételten kiadták s ma is minden évben a politechnikai intézet legjobb végző növendéke emlékkönyvként kapja.

Műveit egybegyűjtve 1878-tól 1912-ig újból kiadták. Tizennégy testes kötet. A valószínűségszámításról szóló könyve a legnehezebb olvasmányok egyike, de ugyancsak ő, népszerű, ragyogó nyelvezetű munkát is írt. Címe „Exposition du Systéme du Monde" (A Hold rendszerének kifejtése). Öt részből áll. Elsőben az égitestek látszólagos mozgásairól, másodikban az égitestek valódi mozgásairól írt. Harmadik kötet a mozgástörvényeket, negyedik az általános nehézkedés törvényét s végül az ötödik a csillagászat történetét tárgyalja. Erről az utolsóról Arago azt mondotta, hogy „a francia nyelv legszebb emlékei közé sorolható".

Családi életét boldognak mondják kortársai. Fia a párizsi Ecole Politechnique-nak és az Ecole de Metznek volt növendéke, katonai pályára lépett és tüzérségi tábornokságig vitte. Leánya mint fiatalasszony halt meg.

Szerette a tudósok társaságát. Berthollet, a híres kémikus, Lavoisier, Gay-Lussac, Dulong, Biot fizikusok, kémikusok és Alexander von Humboldt, a híres német utazó és geográfus, voltak jóbarátai.

87 évet élt. 1827. március 5-én halt meg. Lehetséges, hogy legenda, de kortársai feljegyezték, mikor már halála közeledett, egyik barátja, hogy figyelmét elvonja, arról beszélt neki, milyen új eredmények születnek a tudományokban, mennyit haladt az emberiség, amire ő így válaszolt volna:

— Amit tudunk, vajmi kevés, amit nem tudunk, roppant sok.

Minden bizonnyal, ma is igazat adhatunk neki.

DEZSŐ LORÁNT

CSADA IMRE ELMÉLETI VIZSGÁLATAI A CSILLAGOK ÁLTALÁNOS MÁGNESES TERÉRŐL*

Jól ismert dolog, hogy amennyiben a gázok fénykibocsátása mágneses térben történik, úgy a mágneses tér hatására a fényforrás színképe megváltozik, Zeeman effektus lép fel. Egyes színképvonalak helyének környezetében több vonal keletkezik és ezek egymástól való távolságából a mágneses tér erőssége meghatározható. Így nagy napfoltokban Zeeman effektus mérésekkel néhány ezer gaussnyi mágneses tereket már régóta megfigyelnek és már közel négy évtizede, hogy kb. 100 gaussnyi pontossággal rendszeresen észlelik a napfoltok mágnességét és polaritását. Ennek ellenére mindössze kb. egy évtizede annak, hogy sikerült először hasonló eljárással csillagokon is mágneses teret kimutatni, éspedig gyakran olyan nagyot, amely a legnagyobb eddig mért napfolt mágnességét is meghaladta.

Ez utóbbi években ötletes elektronikus berendezések segítségével elérték azt, hogy kis terek is jól megállapíthatók és a napkorongról kb. egy gauss pontosságú magnetogramok készülnek. Innen tudjuk, hogy a napfelület javarészét csaknem szüntelenül különböző erősségű „lokális" mágneses terek borítják. A felemlített mágneses terek általában eléggé változékonyak, néha igen rövid idő elegendő megváltozásukhoz. (Pl. van olyan csillag, amelyről azt tapasztalták, hogy kb. 9 naponkénti szabályos ismétlődéssel több ezer gausst változik a tér, miközben a polaritás felcserélődik.)

A csillagászati mágneses észlelések technikájának kifinomulása révén sincs azonban mind a mai napig olyan megbízható közvetlen mérés, amely a Nap általános mágneses terének létezését meggyőzően bizonyítaná. Ha szigorú kritikával élünk, úgy a Zeeman effektus mérések alapján csupán annyit jelenthetünk ki, hogy a Nap általános mágneses tere legfeljebb egy gauss nagyságú lehet. Ezzel szemben különféle más észlelési tényekből (így pl. a napkorona fényének polarizációs viszonyaiból, vagy akár a koronasugarak szerkezetéből, sőt bizonyos kozmikus sugárzási észlelési adatokból) közvetett úton mégiscsak arra kell következtetni, hogy a Napnak a foltokkal és a — ma még kellőleg nem tisztázott — más jelenségekkel kapcsolatos lokális „kis" kiterjedésű mágneses terein kívül általános mágneses tere is van. Hasonló meggondolásokkal és ad hoc elméletek igénybevételével oda szabad következtetni, hogy mágneses terek a Világmindenségnek csaknem minden helyén felléphetnek.

Mindezek nyomán az utóbbi évek során nyilvánvalóvá vált, hogy a mágneses terek létezésének tényét vagy lehetőségét nem lehet kirekeszteni a csillagászati jelenségek értelmezésénél. Így kezdett kialakulni az elméleti asztrofizika új fejezete: a (csillagászati) magneto-hidrodinamika, amely a csillagokat alkotó magas hőmérsékletű gázak hidrodinamikájával úgy foglalkozik, hogy figyelembe veszi mágneses terek felléptét, illetve jelenlétét is.

A magneto-hidrodinamika fejlődésének indulásával szoros párhuzamban kísérelték meg fokozottabban alkalmazni a turbulencia elméletet* is bizonyos csillagászati jelenségek magyarázatára. Nem véletlenül történt ez így, hiszen a két problémakör erősen összefügg. Annak ellenére, hogy valószínű az, hogy a természetben előforduló esetek közül — mindazon jelenségeknél, amelyekre vonatkoztatva értelmezhető a turbulencia — a turbulens állapot gyakoribb, mint a

* Jelen írást **Csada Imre** „A csillagok tengelyforgásának és mágneses terének elmélete" című kandidátusi értekezésének 1956. június 20-án rendezett nyilvános vitáján felolvasott hivatalos **opponensi** véleményem nyomán állítottam össze. A matematika jellegű és szakmai részletkérdésekre azonban e helyen nem térhetek ki és így néhol szükségképpen bizonyos fokig „pontatlan" kifejezésekkel kellett szövegeznem. — **Dő. L.**

* „A turbulencia-elmélet és csillagászati jelentősége"-t ismertette **Csada** az 1955. évről szóló Csillagászati Évkönyvben (174—182. oldal.) TTIT. 1954.

nem turbulens és a csillagok is általában turbulens állapotban vannak, mégis régebben kevesebb szó esett a turbulenciáról a csillagászati elméletekben. Ennek oka főleg az volt, hogy a turbulencia elmélet egzaktabb alapjai eléggé új keletűek, sőt még sok alapvető kérdés ma sincs kellően tisztázva. A kiváló elméleti asztrofizikus, S. Chandrasekhar, egyike azoknak, akik talán legtöbbet foglalkoztak a turbulencia elmélet csillagászati alkalmazásával, de mivel a turbulencia elmélet nem csillagászati vonatkozású részei nincsenek még kellően tisztázva, így nem egy dolgozatában akarva — nem akarva, kénytelen foglalkozni nem csillagászati vonatkozású kérdésekkel is.

*

Csada már vagy tíz évvel ezelőtt felismerte a turbulencia elmélet és a magneto-hidrodinamika csillagászati jelentőségét, bedolgozta magát ebbe a tárgykörbe és azóta ilyen problémákkal foglalkozik. Hazánkban az általa vizsgált kérdésekkel egyáltalán nem, de még rokon tárgykörökbe vágó elméleti témákkal sem foglalkozott kutatási szinten eddig senki.

Csada vizsgálatai lényegileg és végső fokon a magneto-hidrodinamika két alapegyenletére, ennek a szerinte turbulenciák esetén is érvényes, általa felállított alakjára épülnek fel. Itt megemlítem, hogy a magneto-hidrodinamika alapegyenletei közül az első a hidrodinamika Euler-féle egyenleteiből a Lorentz erőtörvény figyelembevételével, a második az elektrodinamika Maxwell-féle alapegyenleteiből származik.

Hogy a vizsgált problémák matematikailag egyáltalán tárgyalhatók legyenek, ehhez Csadának (éppúgy, mint másoknak is általában) több egyszerűsítő, idealizáló feltevéssel kellett élni. De mik ezek a leglényegesebb elhanyagolások; illetve körvonalazzuk, hogy milyen esetet tárgyal.

Feltételezi, hogy a csillagok makroszkopikusan semleges elektromos töltésű, de ionizált gázakból álló gömbök, amelyek a rotáción kívül még ún. meridionális áramlást is végeznek és ezen áramlások az egyes meridián-kvadránsokban az egyenlítőhöz viszonyítva szimmetrikusan mennének végbe.

A legtöbb kutató általában már eleve azt tételezi fel, hogy a csillag mágneses tere dipólus jellegű (más szóval olyan, mintha belsejében közönséges mágnesrúd volna elhelyezve). Ezért külön ki szeretném emelni, hogy Csada a csillagok általános mágneses terére csupán azzal a feltevéssel él, hogy az létezik és hogy a mágneses és rotációs tengely egybeesik. Stacionárius állapotú csillagokat vizsgál abban az esetben, ha rájuk semmiféle külső erő nem hat. (Tehát úgyis mondhatnók: a csillag egészének időbeli változásaival nem foglalkozik.) És általában feltételezi még, hogy a sűrűség a csillagban mindenütt egyforma.

A csillag anyagát alkotó gázok mozgására vonatkozó sebesség turbulenciára a Taylor-féle formulát tekinti érvényesnek, amely kvantitatív kapcsolatot ad meg az átlagos sebesség és a sebesség turbulens fluktuációi és egy harmadik fizikai mennyiség között. Feltételezi, hogy a csillagokban nemcsak a gáztömegek mozgását kell turbulensnek tekintenünk, hanem a mozgó ionizált gázak révén feltételezhetően előálló lokális mágneses térerősségek fluktuációit is a turbulencia elmélet szemszögéből kell nézni. Ezért Csada az átlagos mágneses térerősség és az így, definiálható mágneses térerősség turbulens fluktuációi között is egy kvantitatív összefüggést feltételezett és ezt ő a Taylor-féle formulához hasonló alakban veszi fel, figyelembe véve a sebesség és a mágneses térerősség közötti ismert analógiát. (Az, hogy mágneses terek keletkezhetnek a csillagok gáztömegeinek puszta mozgása révén, a Napra vonatkozó újabb mágneses észlelések, valamint újkeletű laboratóriumi kísérletek és más elméleti számítások nyomán voltaképpen ma már nem is számítható külön feltételezésnek.)

Az előbbiekben részletezettek szem előtt tartásával Csada felállította a magneto-hidrodinamikának a gáz és mágneses turbulenciák esetére is első közelítésben érvényes két alapegyenletét. Az így megadott két alapegyenlet for-

mailag azonosnak tekinthető a nem turbulens esetben használatossal, tehát a magneto-hidrodinamika alapegyenleteivel; az egyik különbség az, hogy a formulákban szereplő fizikai mennyiségek közül kettőnek más a jelentése, ha van turbulencia és más, ha nincs.

Csada elsődleges célkitűzése az volt, hogy meghatározza a mágneses tér és a sebesség eloszlását a csillag belsejében, valamint az észlelésekkel összehasonlítható helyeken, tehát a csillag felületén. Így végső fokon, elvileg négy differenciálegyenlet által alkotott egyenletrendszerből kellett bizonyos x-mágneses és sebesség-adatokat közelítőleg meghatároznia. Ezek birtokában már könnyen felírhatta az elsődleges célként kijelölt probléma megoldását is.

Közbevetőleg, Csada — véleményem szerint legfontosabb — eredményének megértéséhez szólnom kell arról, hogy hogyan képzelhetjük el a legáltalánosabb mágneses tér létrejöttét. Elgondolhatunk zérusnál nagyobb távolságban, két pontban egymással egyenlő északi és déli „mágnességet". Az ilyen „alakzatot" nevezzük mágneses dipólusnak. (Mert $2 \times 1 = 2$ pólust tartalmaz.) Igaz, hogy semmi „kézzelfogható" bizonyítékuk sincs egy pontosan ilyen valami létezéséről, mégis a tapasztalat szerint a legközönségesebb mágneses terek olyanok, mintha azok efféle dipólustól származnának. Elektromos áramok, elektromos részecskék mozgása által a legegyszerűbb esetekben ilyen mágneses terek keletkeznek. Ha két dipólust egymás mellé fektetve képzelünk el úgy, hogy nagyjából az egyik északi pólusa mellé a másik déli pólusa kerüljön, úgy az így létrejövő összetett alakzatot kvadrupólusnak nevezzük. (2×2 pólus.) Hasonlóképpen két kvadrupólus egymás fölé helyezésével nyerjük az ún. oktopólust ($2 \times 2 \times 2$ pólus.) Háromdimenziós beállítottságunk szemszögéből nézve ezt az eljárást már nehezen tudjuk továbbfolytatva elképzelni, hogy ezáltal további „magasabb rendű" ($2 \times 2 \times 2 \times 2$ stb.) pólusokat kaphassunk, de matematikailag gondolkozva ezt az eljárást kiterjeszthetjük akár végtelen sok pólus ily módon való összetevéséig is. Ha a pólusokat mind végtelenül közel, de mégis zérus távolságától messzebbre gondoljuk elhelyezve egymástól, kapjuk a különböző rendű „elemi" pólusokat. (Dipólus = 1. rendű pólus, kvadrupólus = 2. rendű pólus, oktopólus = 3. rendű pólus stb.) Ennek a matematikai konstrukciónak most már a fontossága abban van, hogy bármilyen mágneses tér matematikailag jellemezhető, leírható, illetve megadható úgy, mintha ilyen, különböző rendű elemi pólusok valamilyen együttese keltené.

Minden túlzás nélkül szenzációsnak nevezhető Csadának az a meglepő — tudomásom szerint eddig senki által nem sejtett eredménye, amely óvatos fogalmazásban úgy hangzik, hogy a csillagok általános mágneses terét kifejező formulának kell tartalmazni egy domináló oktopólus tagot. Sőt az általa levezetett közelítés szerint egyedül ettől a tagtól származna az egész általános tér, még a dipólus tag is zérusnak adódott. Megítélésem szerint a mágneses oktopólus tér létezhetőségének a kimutatása a legkiemelkedőbb, a további kutatások szempontjából legfontosabb és egyben a legjobban megalapozott kutatási eredménye Csada Imrének. Valószínű azonban, hogy az oktopólus mellett a dipólus teret csupán a kényszerű egyszerűsítések miatt nem tudta fellelni. Ezen a véleményen van maga Csada is.

Az oktopólus térnek tényleges létezését — amelyet elméleti úton a fentiekben vázoltak alapján Csada kapott számításai révén először — megkísérelte a Napról készült és a közelmúltban publikált magnetogramokról leolvasható adatsorok alapján alátámasztani. Csada szerint az észlelési anyag feldolgozásának eredményei valóban azt mutatják, mintha a Napnál egy dipólus térre egy nagyobb oktopólus tér lenne szuperponálódva. A kérdés végleges eldöntéséhez azonban még meg kell várnunk, amíg nagyobb megfigyelési anyag gyűlik össze. Csada a magnetogramokat — úgy vélem — azzal a jogos feltevéssel használhatta fel, hogy a magnetogramokon regisztrált, jól mérhető lokális terek meg-

felelően képezett átlagértékei a lokális térre szuperponálódó, ennél kisebb általános tér menetét fogják visszatükrözni.

Megemlíthetem még, hogy a napfelület mágnességére vonatkozó adatokon kívül más jellegű észlelési tények is valószínűsítik a Csada által számított mágneses oktopólus létezését. Akkor jutunk efféle gondolatokra, ha figyelembe veszszük Csadának a külső oktopólus tér erővonalaira és ezek héliografikus szélesség szerinti eloszlására kapott eredményeit és ezt egybevetjük a napkorona sugaras szerkezetében a koronasugarak mért hajlásszögeivel és a napfoltoknak és protuberanciáknak stb. a Nap felületén tapasztalt eloszlásával.

Csada munkáiból az csendül ki, mintha a meridionális áramlások létezését napészlelési adatok nyomán tapasztalati tényként könyvelhetnénk el. Ez azonban nincs így. Amennyiben a napfoltok két maximális gyakorisági zónájának az egyenlítő felé való eltolódását esetleg a meridionális cirkuláció megnyilvánulásának tekintenők, akkor is ezt az interpretációt még mindig mint külön feltevést kellene tekinteni. Ha pedig a napfoltoknak tényleg volna egy jól beigazolt szisztematikus meridionális saját mozgása, a pólusoktól az egyenlítő felé, amely irányba általában minden elmélet és Csada is vizsgálatainál feltételezi a meridionális áramlás folyását, még akkor is külön fel kellene tételezni azt, hogy a fotoszféra felső rétegeiben lezajló áramlások ragadják magukkal a foltokat. Mindenesetre az újabb statisztikai vizsgálatok (így Tuominen) szerint a foltok határozott egyirányú meridionális mozgást nem mutatnak. Lehetséges, hogy talán (M. Schwarzschild és R. S. Richardson vizsgálatát alapul véve) az az eset forog fenn, hogy ha a naptevékenység valamelyik ciklusában a foltok túlnyomó többsége a meridiánok mentén egyik irányban mozog, akkor a rákövetkező kb. 11 év folyamán a másik irányba fognak haladni. Ha ez igazolódna be a későbbiek során és a foltok ezen szisztematikus mozgását egyben fotoszférikus áramlások irányával egybeesőnek kellene tekintenünk, akkor Csada elméletében, úgy vélem, már komolyabb nehézségek mutatkoznának.

A meridionális áramlások valószínű létezésére tulajdonképpen elméleti úton jöttek rá. Ezt a következtetést először Vogt és (amint ezt Csada is megjegyzi) Eddington tette meg. Mindketten Zeipelnek abból a tételéből jutottak el idáig, amely azt mondja ki, hogy ha a csillagban a rotáció szögsebessége mindenütt ugyanaz, akkor nem állhat fenn egyensúly.

Összegezve, a következőket mondanám: A meridionális áramlásokról közvetlen tapasztalataink nincsenek. És annak ellenére, hogy Csada megkísérelte kiszámítani a napfelület meridionális áramlásának sebességét is és ezt összehasonlítva a régebbi napfoltészlelések útján nyert numerikus adatokkal, aránylag jó egyezést talált, mégis az előadottak alapján ezt még egyáltalán nem merném elmélete alátámasztására felhozni.

Való igaz azonban, hogy Csada disszertációjában egy, a szó igazi értelmében vett elmélet körvonalai bontakoznak ki. Nem arról van itt szó, mintha pusztán bizonyos matematikai számításokat végzett volna el és mindössze megnézte volna, hogy azok eredménye egyezik-e a tapasztalattal, vagy sem. Az az eset sem áll fenn — mint több más elméletének mondott vizsgálatnál —, hogy más kutatásokból vett kidolgozott receptekre alapozva egyszerűen megismételt volna valamilyen számítást, pl. megváltoztatott feltételekkel stb. Hanem kielégítően megalapozott, önmagában eléggé zárt, de a feltornyosuló matematikai nehézségek miatt kényszerűségből erősen leegyszerűsített, fizikailag azonban mégis reálisnak tekinthető problémákat vetett fel és általában racionálisnak látszó feltételekkel megkísérelte azok megoldását. Így egy elmélet keretein belül különböző kvalitatív és kvantitatív összefüggéseket állított fel a csillagok mágnességére és a csillagokat alkotó gázak mozgása, illetve a csillag rotációja, valamint a csillag anyagának állapotát jellemző két fontos fizikai állandó között. Ha Csada vizsgálatainak egyes részleteredményeit mind egybevetjük, akkor ezek összessége alapján már nyugodtabban elismerhetjük a csillagok meridián

cirkulációjának valószínű és sok szempontból szükségszerű létezését, hiszen ez egyik legfontosabb állandó alapfeltevése volt.

És végül, hogy a Csada által folytatott kutatások problematikai nehézségeit, de egyben az efféle vizsgálatok nagy tudományos jelentőségét megfelelő perspektívából nézzük, néhány mondatot idézek *A. Unsöld:* „A csillaglégkörök fizikája, különös tekintettel a Napra" című ismert, a legtöbb elméleti asztrofizikai kutatásnál szinte nélkülözhetetlen kézikönyv 1955-ben megjelent második kiadásából. (Az 531. oldalról.) Unsöld itt többek között felemlíti, hogy míg „... sugárzás elmélet és atomfizika számításainkhoz biztos alapul szolgáltak, most már kénytelenek vagyunk a hidrodinamikai turbulens áramlási jelenségeket is segítségül venni, amelyek — az utóbbi 10 év nagy előrehaladásai ellenére — még sokáig nem fogják utolérni az előbb nevezett tudományágak által elért biztonságot." „... a magneto-hidrodinamika új kutatási területén, az utóbbi években... figyelemre méltó előrehaladást értek el. Az asztrofizika számára különös fontosságú: turbulens áramlások magneto-hidrodinamikája, természetesen a maga teljes egészében számunkra még egy hét pecséttel lezárt könyv."

Csada Imre ezen „hét pecsét" feltörésére irányuló próbálkozások munkálataiban működik közre már évek óta és amint az előadottakból talán elég jól ki is tűnt, nem eredménytelenül.

Mivel Csada kutatási tematikája hazánkban ma még alig ismert, ezért tartottam szükségesnek, hogy az asztrofizika mindazon fejezetére vonatkozólag is általánosságban felemlítsek egyet-mást, amely új keletű tudományág kereteiben vizsgálatai mozognak.

A Hamburg-Bergedorfi csillagvizsgáló új, Schmidt-rendszerű tükörteleszkópja. *A hamburgi csillagászok már rég tervezték egy új nagy Schmidt-tükör felállítását. Azonban a háború közbe jött és csak 1955-ben készült el a műszer, a hozzá tartozó épület és kupola. A Schmidt-rendszerű tükör különösen nagy fényerejével, az egész látmezőre kiterjedő igen jó leképzésével és nagy látmezejével tűnik ki. E kiváló tulajdonságokat egy különleges, a távcső nyílásánál elhelyezett korrekciós lemez alkalmazásával érik el. A hamburgi távcső főbb adatai: Korrekciós lemez átmérője 800 mm, a főtükör átmérője 1200 mm, gyújtótávolság 2400 mm, lemeznagyság 240×240 mm, távcső hossza 6 m, a kupola átmérője 11 m. A műszerhez még egy 800 mm-es, 4° törésszögű objektívprizma tartozik. A lemezen leképzett terület 5°×5°. A mellékelt képen látható a távcső és a segédberendezések. A távcső maga villás szerelésű és az egész műszer egy magasnyomású olajcsapágyon „úszik". Ez egy gömbszegment alakú részből áll, melybe a villa alsó része illeszkedik. A két felület azonban nem érintkezik egymással, hanem nagy nyomással egy vékony olajréteget préselnek közéjük. Ez az olajcsapágy ábránkon közvetlenül a padló felett, a műszer talpazatán látható. Magát a távcsövet és az optikai berendezést a jénai Zeiss Művek, a villaszerelést és a mechanikai berendezést a Heidenreich & Harbeck hamburgi szerszámgépgyár készítette. A távcsőtől balra a kezelőasztal látható. Innen irányítható a távcső mozgása. A rektaszcenzió (tehát nem kell óraszöget számítani) és deklináció beállítása is a kezelőasztalnál történik. A távcső automatikusan beáll kívánt irányba és az óragép és koordináták helyességét egy beépített kvarcóra ellenőrzi automatikusan. Jobbra a távcsőtől látható a szintén elektromos vezérléssel működő észlelőkocsi. A távcső mindkét oldalán található egy-egy vezetőtávcső, úgyhogy a műszer minden állásban kényelmesen kezelhető.*

GAUSER KÁROLY

MÁS NAPRENDSZEREK

Már az ókor gondolkodó emberében felmerült az a gondolat, hogy a világmindenség más pontján is lehetséges élet. A lampsakosi Metrodoros görög bölcs így vélekedett i. e. 300 évvel:

> „Azt hinni, hogy csak egyetlen olyan világ lehetséges, amelyen élet van, éppoly tévedés, mint azt állítani, hogy egy hatalmas szántóföldön csak egyetlen kalász nőhet."

A földönkívüli élet gondolatának képviselőjét szinte minden korban megtaláljuk. Giordano Bruno olasz természetfilozófus már a „Világok sokaságáról" ír és szilárdan hitte, hogy más bolygókon is lehetnek élőlények.

Nyugodtan mondhatjuk tehát, hogy a földönkívüli élet problémája több ezer éves, azonban a tudomány a mai napig sem tudta a kérdést tisztázni.

Naprendszerünk jelenleg ismert kilenc nagybolygója közül — a Földet számításon kívül hagyva — mindössze a Mars és Vénusz bolygó jöhet tekintetbe, mint olyan égitest, amelyen élet kialakulhat. A legbelső bolygó — a Merkur — túlságosan forró, míg a Marson túl már dermesztő hideg uralkodik. A Marson és Vénuszon, a tudomány mai álláspontja szerint lehetséges az élet, ha figyelembe vesszük az azokon uralkodó fizikai feltételeket. Azonban a csillagászatnak mindeddig nem sikerült az élet konkrét jeleit e két bolygón felismerni vagy bizonyítani. A Vénuszt sűrű légkör borítja, felszíne nem is látható és a Mars közel egy évszázados kitartó megfigyelése, sőt fényképezése sem vezetett eredményre. A marsbeli élettel foglalkozó széleskörű viták csupán feltevéseken alapulnak.

Igen kétséges, hogy távcsöves megfigyelésekkel valaha is eldöntsék ezt a kérdést, még akkor is, ha a jelenleginél jóval nagyobb távcsöveket építenének.

Mint látjuk, tehát az élet lehetőségei bolygórendszerünkön belül aránylag szűk térre konlátozódnak. Naprendszerünk középpontja, a Nap — bár szerény átlagcsillagnak nevezhető — élet szempontjából számításba sem vehető, 6000 C°-os felületi és mintegy 20 millió C°-os belső hőmérsékletével. Ugyanez mondható el Tejútrendszerünket alkotó mintegy 100 milliárd csillagról, melyeknek kb. a fele még magasabb hőmérsékletű. A világ valamennyi tudósának közös véleménye az, hogy élet csak szilárd kéreggel bíró, aránylag kisméretű égitesteken — Földünkhöz hasonló bolygókon — alakulhat ki.

Kérdés tehát az, hogy van-e más csillagoknak is bolygórendszere, azaz vannak-e más naprendszerek, melyek mintegy alapfeltételei az élet kialakulásának? Ha vannak ilyenek, van-e lehetőség arra, hogy távcsöves megfigyeléssel kimutathassuk?

Vegyünk talán egy példát a Nap közvetlen környezetéből. Legközelebbi csillagszomszédunk, a déli éggömb egyik szabad szemmel nem látható csillaga, a 4,25 fényévnyire levő Proxima Centauri, amely egy hármas rendszer tagja. A rendszer két másik csillaga a Centauri A és B, mintegy 4,3 fényévnyire vannak. Távolságuk tehát kb. 271 000-szerese a Nap—Föld távolságnak.

Vizsgáljuk meg, mit láthatna egy ottani „megfigyelő" a mi Naprendszerünkből? Felfedezhetnék-e kb. 41 billió km-es távolságból bolygóinkat? Napunk feltétlenül az égbolt egyik legfényesebb csillagának látszana. Bolygórendszerünk azonban már aligha lenne észlelhető. A négy legbelső bolygó: a Merkur, Vénusz, Föld és a Mars a Naphoz való nagy közelségük miatt elvesznének a Nap sugaraiban.

Megfigyelhetnék-e a Jupitert, mely ugyan Földünknél 5,2-szerte messzebb kering a Naptól, viszont 11-szer nagyobb átmérője miatt még viszonylag elég fényes. A Jupiter fényessége a Földről szemlélve elérheti a — 2 magnitudót, azaz fényessége időnként felülmúlja az égbolt legfényesebb csillagát, a Sziriuszt (— 1,6 magn.). Azonban 4,25 fényév távolságból a Jupiter fényessége már csak

+ 23 magnitudó lenne, azaz mintegy 16 milliószor lenne halványabb, mint a szabad szemmel még látható leghalványabb csillag. Észleléséhez legalább 5 méter átmérőjű távcsőre lenne szükség és csak fényképezéssel, több órás expozícióval lehetne eredményt elérni és legfeljebb hat évenként egyszer. A Jupiter keringési ideje kb. 12 év, és csak hat évenként távolodik kb. 4"-re a Naptól (a Proxima Centauriról szemlélve). De még így is kérdéses, hogy a Nap erős fénye nem nyomná-e el teljesen? A Jupiternél távolabb keringő bolygók, bár nagyobb naptávolságuk miatt könnyebben lehetnének megfigyelhetők, halvány fényük miatt már számításba sem vehetők (Szaturnusz, Uranusz stb.).

A Proxima Centauri képzeletbeli megfigyelője tehát aligha tudná felfedezni a mi bolygórendszerünket. 4,25 fényév már túlságosan nagy távolság, különösen akkor, ha a keresett bolygók a rendszer középpontjában levő csillaghoz viszonylag ilyen közel keringenek.

A példa azonban megfordítva is érvényes. Ezzel a módszerrel bolygórendszerek után kutatni nem lehetséges. Pedig a Proxima Centauri — jelenlegi ismereteink szerint — a legközelebbi csillagszomszédunk. A fényes Sziriusztól már kilenc fényév választ el bennünket és az ismert csillagképek legfényesebb csillagai már 10—500 fényév távolságban vannak.

Más megoldást kell tehát keresnünk. Mielőtt azonban erre rátérnénk, két kérdést kell még tisztáznunk.

Elsőnek azt, hogy egyáltalában milyen fajta égitestet tekintsünk bolygónak? Hol van a csillagok és bolygók közötti határ? P. van de *Kamp* amerikai csillagász felfogása szerint csak olyan égitest nevezhető bolygónak, mely nem nagyobb egy átlagos naptömeg 1/20 részénél, saját hőmérsékletük igen alacsony. J. Dommenget a napok és bolygók közötti határvonalat még lejjebb szorítja: 1/100 naptömegre. De ez még mindig igen tekintélyes égitest, mert pl. Naprendszerünk óriása, a Jupiter, mindössze 1/1047 naptömeget képvisel. Dommenget szerint tehát a Jupiternél 10-szer nagyobb tömegű égitest még bolygó lehetne. Ennél nagyobb tömegű égitestben azonban már minőségi változás történik: a nagy belső nyomás és hőmérséklet folytán atommagreakciók indulnak meg. Ez az égitest azonban már csillagnak nevezhető.

A másik kérdés pedig az, hogy a csillagászok elméleti meggondolások alapján hogyan vélekednek a bolygórendszerek gyakoriságáról? Van-e egyáltalában értelme az ilyen irányú kutatásoknak? *Jeans* angol csillagász szerint a bolygórendszerek keletkezése igen ritka, sőt véletlen jelenségnek tekinthető. Ezt a feltevését az azóta megcáfolt kozmogóniai elméletére alapította. Bolygórendszerünk keletkezését a Napnak egy másik csillaggal történt véletlen találkozására vezette vissza. Szerinte Napunk évmilliárdokkal ezelőtt egy nála valószínűleg nagyobb csillaggal találkozott össze. E csillag hatására hatalmas orsó alakú gáznyúlvány szakadt ki a Napból és ebből alakultak ki a bolygók. Ogorodnyikov számításai szerint, annak valószínűsége, hogy egy csillagnak a Jeans-féle elmélet értelmében bolygórendszere keletkezhessen, mindössze 1/300 000, de csak akkor, ha a kérdéses csillag legalább 100 000 fényévnyi utat fut be a Tejútrendszer többi csillaga között. Jeans — saját elmélete alapján — legfeljebb néhány tucatra becsülte a bolygórendszerek számát a Tejútrendszerben. Nyilvánvaló, hogy ezen az alapon minden ilyen irányú kutatás már eleve feleslegesnek látszott. A csillagászok többsége azonban másként vélekedett és Jeans álláspontját sohasem fogadták el.

1943-ban gyökeresen megváltozott a helyzet. *Strand, Recyl* és *Heimberg* svéd csillagászok gyors egymásutánban két bolygórendszert fedeztek fel a Cygnus (Hattyú) és az Ophiucus (Kígyótartó) csillagképben, valamint egy harmadikat, mely a Cincinnati 1244 jelzésű magános csillag körül kering. A felfedezések következményeképpen maga Jeans is kénytelen volt addigi merev álláspontját megváltoztatni és attól kezdve a bolygórendszerek számát már ő is több millióra becsülte.

Az azóta eltelt másfél évtized alatt további négy olyan csillagot találtak, melyek bolygórendszerrel „gyanúsíthatók". A hét bolygórendszer közül hat a Nap szűkebb környezetébe tartozik, mert öt parszeken (kb. 16,5 fényév) belül találhatók.

Mint már említettük, közvetlen észleléssel ilyen irányú vizsgálatokat folytatni teljesen céltalan. Közvetett úton azonban — a csillagok mozgásának tanulmányozása révén — tudomást szerezhetünk vizuálisan nem észlelhető, nagyobb tömegű, számunkra láthatatlan égitestekről.

Két egymás körül keringő égitest mozgása közös tömegközéppont körül történik. A tömegközéppont mindig a nagyobb tömegű égitest közelében van. Pl. a Föld—Hold-rendszer esetében kb. 1700 km-rel a Föld kérge alatt. A közös mozgásból adódik, hogy a nagyobb tömegű égitestek kisebb, a kisebb tömegűek pedig nagyobb ellipszist írnak le a tömegközéppont körül.

Az égitestek mozgása kúpszelet pályákon történik, azaz magános csillagoknál parabola vagy hiperbola, kettőscsillagoknál pedig ellipszis pályán. A valódi pályától függetlenül, a csillagok mozgása rövid időszakasz alatt egyenesnek tekinthető, minthogy igen nagy kiterjedésű pályákról van szó. Ha azonban a megfigyelt csillag pályája nem egyenes, hanem pl. hullámvonal vagy fűrészfog alakú lesz, biztosak lehetünk abban, hogy a csillag körül egy vagy több, közvetlenül nem észlelhető, ún. sötét kísérő kering, melyeknek hatására a csillag a közös tömegközéppont körül kilendül. A sötét kísérő tömege kiszámítható és így eldönthető, vajon bolygóról van-e szó, vagy pedig igen gyenge fényű csillagról, mely a fényesebbel együtt kettős csillagrendszert alkot.

A csillagok mozgásának ilyenfajta tanulmányozása eddig hét olyan csillagot eredményezett, melyek körül sötét kísérő kering. A módszer legnagyobb hibája az, hogy a sötét kísérőnek csak az össztömegét lehet kiszámítani, de nem tájékoztat arról, hogy vajon egy vagy több bolygóról van-e szó?

A következő táblázatban közöljük e hét csillagra, valamint sötét kísérőikre vonatkozó adatokat:

A csillag neve	Sötét kísérőjének tömege (A Jupiter tömege = 1)	Keringési idő években	A főcsillag elmozdulása ívmásodpercekben	Távolság fényévekben
Proxima Centauri	2	2,5	0,01	4,25
Lalande 21 185	?	1,14	0,029	8,0
61 Cygni B	16	4,9	0,02	11,1
Ross 614	?	16,5	0,31	13,0
70 Ophiuci	10	17,—	0,015	16,2
02 Eridani A	29	3,—	0,012	16,5
Cincinnati 1244	32	26,5	0,06	29,7

A negyedik rovatból láthatjuk, hogy a főcsillag elmozdulása a sötét kísérő hatására rendkívül kicsi, sokszor az ívmásodperc századrészéről van csak szó. A megfigyelés tehát rendkívül nehéz és alapos felkészültséget, pontos műszereket kíván.

Mint érdekességet említjük meg, hogy a példaként felemlített Proxima Centauri mozgásának tanulmányozása is eredménnyel járt. Sötét kísérőjének tömege mindössze kétszerese a Jupiter tömegének.

A továbbiakban röviden ismertetjük a táblázatban szereplő 61 Cygni B jelzésű csillag sötét kísérője felfedezésének történetét, mely sorrendben az első volt.

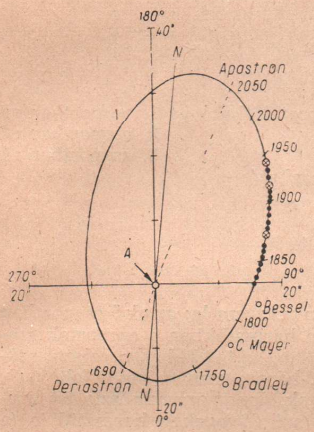
A 11,1 fényévre levő főcsillag tulajdonképpen kettős. Két komponensének fényessége 5,6, illetve 6,3 magnitudó, tehát szabad szemmel nem láthatók. Mindkettő vörös törpecsillag, K6, illetve MO típusúak. Már 100 évvel ezelőtt klasszikus hírnévre tett szert e kettőscsillag, mert F. W. Bessel ezen a csillagon mérte meg az első pontos állócsillag távolságot. Gyorsmozgású csillagpár, saját

mozgása igen nagy: évenként 5,2"-et mozdul el. *K. A. Strand* még a harmincas évek közepén megkísérelte, mintegy 110 évre visszemenő adatok alapján a csillag pályáját meghatározni. A két komponens egymástól való közepes távolsága kb. 84-szeres Föld—Nap távolság. Strand mintegy 30 000 fényképfelvételt készített a 720 éves keringési idejű kettőscsillagról. A B-komponens pályája a régi adatok, valamint a nyolcéves megfigyelés alapján *hullámvonalnak* adódott, ami sötét kísérő létezésére utal.

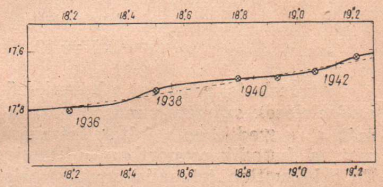
Az alábbi ábrán a kettőscsillag pályáját látjuk, az A-komponens az ellipszis gyújtópontjában van, míg a B-komponens ellipszis pályán kering körülötte. Az évszámok a B-csillag helyzetét jelölik. Az 1830—1943 közötti megfigyelések alapján a pálya hullámvonalnak adódott, amit a rajzon pontok jelölnek (35. sz. ábra).

A kettőscsillag összesen 1,16 Naptömeget képvisel, míg a sötét kísérő össztömege 1/60 naptömeg. Ez pedig 10-szer kisebb, mint a Krueger 60 B csillag tömege, mely úgy ismeretes a csillagászok előtt, mint az egyik legkisebb csillag.

A sötét kísérő keringési ideje 4,9 év, átlagos távolsága a főcsillagtól kb. 300 millió km. Pályája elnyúlt ellipszis, excentrumossága 0,7, emiatt a főcsillag kilengése igen csekély, mindössze 0,02" (36. sz. ábra).



35. ábra. A 61 Cygni B kísérőjének pályája



36. ábra. A 61 Cygni B főcsillagának pályája az 1935—1943 években

A 36. sz. ábra az 1935—1943 közötti évek megfigyelési eredményeit tartalmazza. A lepontozott vonal az elméleti ellipszis pályát jelöli, míg a hullámvonal a ténylegesen megfigyelt pályát. A kísérő 16 Jupitertömeget képvisel, de arról természetesen nincsen tudomásunk, hogy egy vagy több bolygóról van-e szó? Még igen sok pontos mérésre, vizsgálatra van szükség. Különösen a tömegszámítás pontossága rendkívül fontos, mert kiderülhet, hogy csak halványfényű csillagról van szó, mely nagyobb távcsővel esetleg már észlelhető lesz. E felfedezések alapvetően megváltoztatták a világmindenségről alkotott elképzeléseinket, bármennyire is a kezdet kezdetén vagyunk. Ezek után már érdemes számításokat végezni a bolygórendszerek gyakoriságáról. A Nap környezetében öt parszek sugarú gömbön belül a jelenleg ismert 42 csillag közül — Napunkat is beleszámítva — a csillagok 1/6-a rendelkezik, vagy gyanúsítható bolygórendszerrel. Ha ezt az arányt Tejútrendszerünk 100 milliárd csillagára is kiterjesztjük, a legóvatosabb becslések mellett is milliárdos számokat kapunk. A csillagászat mostanáig már több milliárd — a miénkhez hasonló Tejútrendszert — extragalaktikát — ismer, melyek sokszor egész halmazokat alkotnak. Ezek szintén a csillagok milliárdjaiból állanak. És a végtelen világmindenségben még milliárdszámra lehetnek olyanok is, amelyek már semmiféle távcsővel sem észlelhetők. A bolygórendszerek — más Naprendszerek — száma tehát igen tekintélyes. Ezeknek és a rajtuk lehetséges életnek kutatása vagy bizonyítása azonban a jövő — mégpedig az igen távoli jövő — feladata. És ez már nem is annyira a csillagászat, mint inkább a világűrhajózás távoli célja.

IFJ. BABOS KÁROLY

NAPFOLTOK RELATIVSZÁMA 1956 MÁSODIK NEGYEDÉBEN

A napfoltok számának rendszeres észlelését saját készítésű 15 cm-es, Newton szerelésű reflektoron végeztem. A távcső gyújtótávolsága 143 cm. Fényereje 1 : 10. Felállítása szimutális, faállványon. A napfolt-észlelésnél 100-as nagyítást használok. Távcsövem optikáját és tükrét az Uránia Bemutató Csillagvizsgáló műhelyében készítettem dr. Kulin György vezetésével és irányításával.

A napfoltok viszonylagos (relatív) száma a következő képlet segítségével számítható ki:

$$R = 10\,g + f$$

R = relatív szám

g = a csoportok száma

f = a foltok száma

Például az egyik észlelésnél három foltcsoport látható az 1. csoportban : 5
2. csoportban : 6
3. csoportban : 1
folt látható. A képlet a következőképpen alkalmazható:

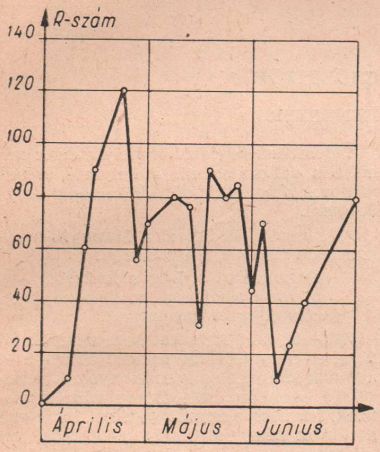
$$g = 3$$
$$10g = 30 \qquad R = 30 + 12$$
$$f = 12 \qquad R = 42$$

Az észlelési adatokat a következő sorrendben jegyzem le: az első csoportban az észlelések számát, a másodikban a dátumot, a harmadikban a csoportok számát, a negyedikben a foltok számát a csoportokban, az ötödikben a relatív számot, a hatodik csoportban a megjegyzést (pl. három nagyméretű folt van). Én a közvetlen (vizuális) megfigyelés híve vagyok, éppen ezért az észlelést kormozott üvegen keresztül végzem, de történhet szűrőüvegeken keresztül is (a szűrőüvegek kaphatók bármely OFOTÉRT-boltban, darabja 10 Ft). A szűrőüvegből nem elég egy, mert vékony, könnyen elpattanhat és a szemet összeroncsolhatja, ezért tanácsos 3—4-et, sőt ötöt is venni és ezeken keresztül már biztonságosan végezhető a megfigyelés. A napfolt megfigyelésének van egy másik módja, a Nap képének kivetítése. A vetített kép felfogására kartonra erősített sima fehér papírlapot használunk, vagy még alkalmasabb a gipszkorong. (Pl. ha az okulár gyújtótávolsága 30 mm és 10-szeres nagyítást akarunk, az okulárt 3 mm-re kell kihúzni és az ernyőt 23 cm távolságba kell helyezni, hogy 186 mm-es napképet kapjunk.) A kartonon vagy gipszlapon felfogott napképet az okulár pontos beállításával lehet élessé tenni. Ezzel a módszerrel nemcsak a napfoltokat, hanem a fáklyákat és granulációkat is jól megfigyelhetjük. A Nap kivetített képe így igen fényes és nem lehet jól megfigyelni, ezért a távcső nyílását leszűkítjük, ún. leblendézzük, amit úgy végzünk el, hogy egy kartonlap közepén 5 cm-es kör alakú nyílást vágunk és így csak ezen a nyíláson keresztül jut a távcsőbe a Nap csökkentett fénye.

Az év második negyedében a Nap felületén változatlanul erős volt a foltképződés. Az alábbiakban közlöm a napfoltok havi közepes relatív számát 1956 áprilistól júniusig:

Hónap: 1956.	IV.	V.	VI.
R-szám:	48,7	63,9	50,1
Észlelések sz.:	13	19	15

Igen erős volt a naptevékenység április 18-án (R = 148), április 18-án (R = 181), május 18-án (R = 61), május 26-án (R = 93), június 30-án (R = 86). Erős tevékenységű hónapnak igérkezik a július hónap. A napfoltok relatív számán kívül egyes nagyobb méretű foltok keletkezését és élettartamát is megfigyeltem. Közlöm néhány nagyobb méretű folt élettartamát:



37. ábra. Napfoltok relatív száma 1956 április—június hónapokban

1. Április 11-én keletkezett, 19-én felbomlott.

2. Április 20-án keletkezett, 28-án felbomlott.

3. Május 9-én keletkezett (ez a folt nagyméretű volt), 24-én felbomlott.

A nagyobb foltokon szépen megfigyelhető volt a sötét (umbra) és a magot körülvevő szürkés (penumbra). A napfoltok tulajdonképpen örvényszerű alakulatok, amelyeknek lemélyebb pontja az umbrában van. Amikor a napfolt a tengelyforgás következtében a Nap peremére ér, tányérszerű lemélyedést mutat (kb. 240-es nagyítással nagyobb méretű folt esetében ez a jelenség látható).

AKVÁRIUM ÉS TERRÁRIUM **A magyar biológiai szakkörök közlönye**

Cikkeiben felöleli az egész akvarisztika és a terrárisztika (herpetológia, inszektáriumok, szobanövény- és madárgondozás) területét. Megjelenik kéthavonta 3 ív terjedelemben, színes fedőlappal, bőséges illusztrációval. Előfizetési díja egész évre 24,—, fél évre 12,— Ft. Egyes szám ára 4,— Ft. Az előfizetési díjat a „Gondolat" Kiadó címére (Budapest, VI., Révay utca 16.) a 91.915.273—50. csekkszámlaszámon kell befizetni pontos név, lakhely és a lap címének megjelölésével.

ÉLŐVILÁG A TTIT BIOLÓGIAI SZAKOSZTÁLYÁNAK KÖZLÖNYE

A biológia legkülönfélébb szakterületeinek (botanika, zoológia, genetika, fiziológia stb.) haladásáról számol be, ismerteti a legújabb kutatási eredményeket, felfedezéseket, érdekes illusztrációkkal szemlélteti a növények és állatok életét. Lapunk 5 ív terjedelemben kéthavonta jelenik meg.

Előfizetési díja egy évre 36,—, fél évre 18,— Ft. Egyes szám ára 6,— Ft. Az előfizetési díjat a „Gondolat" Kiadó címére (Budapest, VI., Révay utca 16.) a 91.915.273—50. csekkszámlaszámon kell befizetni a pontos név, lakhely és a lap címének megjelölésével.

AMATŐR TÁVCSŐÉPÍTŐK

A NASMYTH-RENDSZER

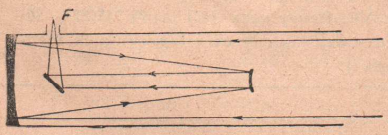
A *Cassegrain*-rendszerben a főtükör kifúrt közepén át vezetett sugárnyalábbal érjük el, hogy a betekintés a refraktorokhoz hasonló.

Amennyiben a főtükröt nem fúrjuk át, nem beszélhetünk *Cassegrain*-megoldásról, csak annak módosításáról. Több ilyen módosítás lehetséges. Egyik mód pl. az lehetne, hogy a tükör közepét átlátszóvá tesszük a tükröző réteg eltávolításával. Ennek a megoldásnak nagy hátrányai vannak. A tükörüveg nem mindig optikai üveg, ily vastag üveg tehát torzítja a képet. De mégha optikai üvegből készülne is tükrünk, nagy fényveszteséggel kellene számolnunk.

A tükör kifúrását kerüli meg a *Nasmyth*-rendszer úgy, hogy az optikai leképezésben semmi torzulás nem áll elő. Megváltozik azonban a Cassegrain-rendszerre jellemző betekintés kényelmessége.

A *Nasmyth*-rendszer tehát csak részben tartalmazza a *Cassegrain*-megoldás előnyeit. Megmarad ugyanis a rövid csőhossz és a nagy effektív fókusztávolság.

A főtükör kifúrását azzal kerüljük el, hogy a főtükör közelében 45° hajlással síktükröt helyezünk el, amely az összetartó sugárkúpot a csőperemen kívül egyesíti képpé (38. rajz).



38. ábra

Amint a 38. rajzból kitűnik, itt a sugárkúpnak az a része, amely a domború segédtükörtől a csőperemen kívül levő *F*-pontig terjed, — nagyobb, mint a főtükör és segédtükör távolsága.

A *Cassegrain*-rendszerben szereplő adatok itt megváltoznak kismértékben. És éppen az a szerencse, hogy csak kismértékben változnak meg, mert így ugyanazokat a képleteket használhatjuk a *Nasmyth*-rendszerben is, amelyek a *Cassegrain*-megoldásban érvényesek voltak.

A domború segédtükör helyzetének minimális változatásával *F* helyzete erősen módosul, s így nem kell külön képletekkel dolgozni.

Így, rajz után ítélve, a *Nasmyth*-rendszer igen előnyös, mert hiszen:

a) *nem kell átfúrni a főtükröt;*
b) *rövid csőhossz mellett nagy effektív fókuszt kaphatunk.*

Valóban, ha tükrünket nem akarjuk átfúrni és nagy effektív fókuszt akarunk — a *Nasmyth*-szerelés igen előnyös. Elkészítésére azonban csak akkor vállalkozhatunk, ha már elegendő gyakorlatunk van a tükrök készítésében és az optikák szerelésében.

Amatőr legyen ugyanis a talpán az, aki ezt a három optikai elemből álló rendszert megfelelőképpen összehangolja és jusztírozza.

Mindenesetre, akinek rendelkezésére áll a főtükör és segédtükör — vagy megfelelő jártassága van ezek elkészítésében — már csak egy jó síktükör szükséges és el lehet kezdeni az optikai összeszerelést.

De hol is kezdjük a jusztírozást?

Csövünket a Nap felé irányítjuk. (Más égitest gyenge fénye miatt nem alkalmas a még ezüstözetlen tükrök jusztírozására.)

1. *A cső közepére szerelt segédtükör árnyéka essék pontosan a főtükör középpontjára.*
2. *Főtükrünket addig állítgassuk, amíg a róla visszaverődő napkép intrafokális képe a segédtükörre esik.*
3. *A segédtükröt úgy állítjuk be, hogy a róla visszavert sugarak a főtükör közepén adjanak fényfoltot.*
4. *Az optikai tengelybe helyezett 45°-os síktükör ez esetben a csőperem felé vetíti a sugarakat. Addig állítjuk most már a síktükröt, amíg a napsugarak a cső okulárnyílására esnek.*
5. *Ekkor a kép élesreállítása érdekében a domború segédtükröt addig tologatjuk előre-hátra, amíg az okulárnyílásba helyezett fehér lapon a Nap éles képe jelenik meg.*

Az okulár és védőüveg behelyezésekor már legfeljebb minimális jusztírozásra van szükség ahhoz, hogy a napfelületet élesen láthassuk.

Az így összeállított távcső jóságát feltétlenül állócsillaggal kell kipróbálni. Ha az állócsillagok képe éles, fényes pontocska s az állócsillag extrafokális és intrafokális képei egyformán egyenletesen osztott fényű korongok — úgy távcsövünk optikailag kitűnő, de amíg ezt el nem értük, semmivel sem ér távcsövünk többet, mint a *Newton*-távcső.

Kérdés, mikor előnyös a *Nasmyth*-szerelés? Az előny a hosszú fókusz, tehát a nagy nagyítási lehetőség. Márpedig nagy nagyításra csak nagyobb tükörátmérő mellett törekedjünk.

Példával illusztrálva: semmi értelme sincs annak, hogy 10 cm átmérőjű 1 méter fókuszú tükrünket *Nasmyth*-szerelésben alkalmazzuk, mert a minimális háromszoros fókusznyújtás esetén is 3 méter lesz távcsövünk fókusztávolsága, tehát a fényerő 1 : 30 lesz.

Az ilyen távcső jó pl. a Nap megfigyelésére, de ott is túlságosan nagy nagyítást kapunk, ami a hasznos nagyítást messze túlhaladja.

Nagyon előnyös azonban pl. 20 cm átmérőjű és 100 cm fókusztávolságú tükrünket *Nasmyth*-szerelésben alkalmazni, mert rövid csőhossz mellett még 10 mm-es okulárral is jól használható képet kapunk.

Végeredményben tehát a *Nasmyth*-szerelésnek fókusznyújtás szempontjából ugyanaz az előnye, mint a *Cassegrain*-rendszernek, de a beiktatott új sík segédtükör miatt a fényveszteség még kb. 10%-kal megnövekszik s az optikai jusztírozása elég körülményes.

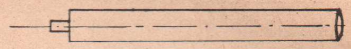
Coudé-szerelés

E francia szó nem optikus, vagy csillagász neve, tehát nem nagybetűvel írandó, mint *Newton, Cassegrain, Nasmyth* stb. A *coudé*-távcső helyes magyar megfelelője: *könyök-távcső.* Egy közönséges *Kepler*-féle lencsés távcső is átalakítható könyöktávcsővé egy síktükör beiktatásával (39. és 40. rajz).

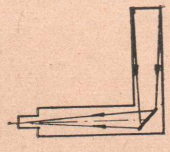
Tükröstávcsövek esetében a *coudé*-szerelés a rendkívüli mértékű fókusznyújtásra használt megoldás. Így pl. a palomárhegyi 5 méteres távcső *Newton* fókusza 16,5 m, *Cassegrain* fókusza 80 méter, a *coudé* fókusza viszont 150 méter.

A fénysugár megtörését (a könyököt) a távcső felfüggesztő tengelyénél alkalmazzuk.

Ha a fénysugarakat egyszer térítjük el 90°-ban, úgy a sugármenet a deklinációs tengelyen vezethető ki, kétszeres 90°-os

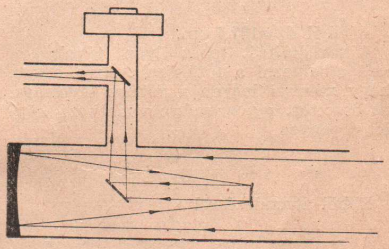


39. ábra



40. ábra

töréssel a rektaszcenzió tengelyen vezethető ki a sugár s így elérhető, hogy a távcső bármely helyzetében egy mozdulatlan helyen történik a betekintés (41. rajz).



41. ábra

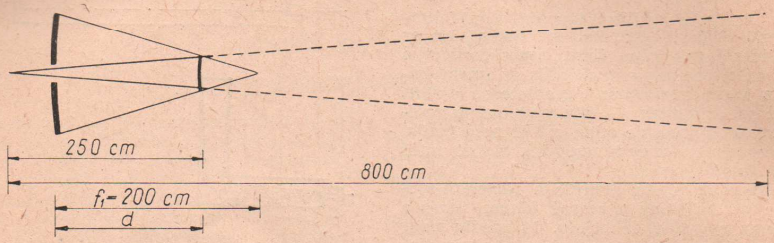
Ez utóbbi megoldást valósítja meg az Uránia műhelyében *Bozsidár* által tervezett, s *Hernádi* által módosított 30 cm-es távcsőmegoldás. A *coudé*-rendszert alkalmazzuk végeredményben olyan esetekben, amikor a 90°-ban eltérített sugárnyalábot egy távolabb fekvő megfigyelőhelyre továbbítjuk.

A *coudé*-rendszerben új számolási probléma merül fel amiatt, hogy a képalkotó sugárkúpot a segédtükörtől távolabb egyesítjük képpé, mint amennyi a két segédtükör távolsága.

A *Cassegrain-rendszer* ismertetésében közölt képletek azonban eligazítanak bennünket.

Legyen pl. a főtükör átmérője 30 cm, gyújtótávolsága 2 méter. Az eredő fókusz legyen (f) 8 méter és a fókuszpont (F) 250 cm-re legyen a domború segédtükörtől. Milyen távol kell elhelyezni a domború segédtükröt a főtükörtől, és mennyi legyen annak fókusztávolsága?

A helyzet könnyebb megértése érdekében most a sugármenetet kiegyenesített formában rajzoljuk meg, így könnyebb lesz a számítást elvégezni (42. rajz).



42. ábra

Hasonló háromszögek alapján

$$\frac{d}{200} = \frac{550}{800}$$

Amiből $d = 137{,}5$ cm.

A segédtükröt tehát ilyen távolságon kell elhelyezni a főtükörtől. Arra nézve, hogy mennyi legyen a fókusz távolsága, az összetett rendszerekre vonatkozó képlet érvényes

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

Ebből átrendezéssel

$$f_2 = \frac{(d - f_1) f}{f - f_1} = \frac{(137{,}5 - 200)\,800}{800 - 200} =$$

$$= -\frac{800 \cdot 62 \cdot 5}{600} = -83{,}3 \text{ cm}$$

A Gregory-rendszer

A fókusznyújtás, illetve a képnagyítás klasszikus eljárásai közé tartozik a *Gregory*-féle megoldás. Itt a főtükör parabolikus, a segédtükör elliptikus. Tehát itt is két optikai elem van, csakhogy itt mind a kettő pozitív tükör.

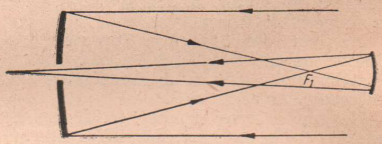
Erre az esetre nem érvényes az összetett rendszerek eredő gyújtótávolságára eddig alkalmazott képlet. Amint később látjuk, képletszerűen is dolgozhatunk, kevés módosítással az eddig megismert alakú képletek lesznek érvényesek.

Szándékosan elkerüljük azonban egyelőre ezt az utat, hogy észrevegyük, itt lényegében másról van szó, mint a *Cassegrain*-rendszerben.

A pozitív segédtükör a főtükör gyújtótávolságán kívül helyezendő, tehát a főtükör által keltett valódi képen túl.

A segédtükör szerepe tehát voltaképpen a főtükör által keltett kép újabb leképezése.

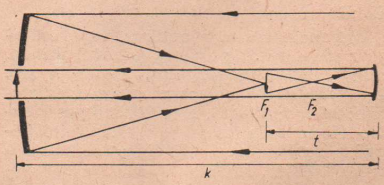
Optikai szempontból pontosan ugyanaz a helyzet, mint amikor a lencsés távcsövek, vagy akár a reflektorok előállított valódi képét az okulár segítségével újra leképezzük.



43. ábra

Lássuk közelebbről a helyzetet egy rajz segítségével (43. rajz).

Az itt vázolt s általánosan könyvekben előforduló sugármenet nem egészen világos ahhoz, hogy a lényegre mutasson. Helyesebb, ha a következőképpen fogjuk fel a dolgokat úgy, ahogyan a 44. rajz mutatja.



44. ábra

A sugármenetet csak az F_1-ben keletkező képig rajzoljuk meg.

A *Gregory*-rendszer homorú segédtükre, mint egy másik képalkotó tükör, az itt keletkező képet azzal a feltétellel képezi le, hogy a segédtükör és F_1 távolsága a tárgytávolság *(t)*, míg a segédtükör és a

főtükör lyukfuratának távolsága, az új képtávolság (k) legyen.

Beláthatjuk, ahhoz, hogy F-ben reális kép keletkezzék, szükséges, hogy a segédtükör gyújtótávolsága (f_2) kisebb legyen, mint a tárgytávolság.

Rendszerint a segédtükör f_2 gyújtótávolsága adott és így t, k és f_2 között az:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k}$$

képlet ad összefüggést.

F tehát lényegében nem is nevezhető a rendszer eredő gyújtópontjának ebben a felfogásban, noha, mint látni fogjuk, mégis ilyen tulajdonságai vannak.

Beszélhetünk azonban látszólagos fókusznyújtásról és ennek értékét a $\frac{k}{t}$ hányados adja meg. Ez egyben azt is megadja, hogy az F-ben keletkező kép hányszor nagyobb, mint az F_1-ben keletkező elsődleges (primer) kép.

Vegyünk egy konkrét példát: Legyen főtükrünk gyújtótávolsága 120 cm. Homorú segédtükrünk gyújtótávolsága legyen 32 cm.

Hányszoros képméret növelést érünk így el és hova kell helyezni a segédtükröt, hogy a kép a lyukfuratban keletkezzék?

Az első, amit leolvashatunk a rajzról az, hogy a képtávolság 120 cm-rel lesz nagyobb, mint a tárgytávolság: $k = 120 + t$. Fennáll tehát a következő összefüggés:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{t} + \frac{1}{120 + t}$$

vagyis

$$\frac{1}{32} = \frac{1}{t} + \frac{1}{120 + t}$$

Ebből egy másodfokú egyenletet kapunk, amelynek két megoldása közül a pozitív előjelűt figyelembe kell venni s az eredmény t-re 40 cm lesz. A két tükör távolsága tehát $120 + 40 = 160$ cm.

A két tükör távolsága egyben az új képtávolság is. Tehát $k = 160$ cm. A tárgytávolságra 40 cm-t kaptunk s így a képméret nagyítása a kettő hányadosa, azaz 4-szeres lesz.

Végeredményben tehát egy kb. 160 cm-es csőhossz mellett a 120 cm-es fókusztávolság effektíve 480 cm-re nyúlik meg.

Látjuk tehát, hogy a *Gregory*-rendszer is aránylag rövid csőhossz mellett nagy effektív fókusztávolságot eredményez.

Mivel azonban a segédtükör a főtükör gyújtótávolságán kívül foglal helyet (a *Cassegrain*-rendszerben a fókuszon belül) a csőhossz ugyanolyan nyújtás mellett valamivel nagyobb itt, mint a *Cassegrain*-rendszerben.

A *Gregory*-rendszer előnye az, hogy a betekintés ugyanaz, mint a *Cassegrain*-rendszerben, minthogy a főtükör itt is át van fúrva, és egyenes állású képet ad.

Kissé ijesztőnek tűnik, hogy a helyes leképezéshez a segédtükörnek ellipszoidnak kell lenni. Meg kell azonban mondanunk, hogy az amatőr eljárás szerint készült tükrök rendszerint annyira kimélyülnek középen, hogy alakjuk már nem paraboloid, hanem hyperboloid vagy ellipszoid.

Mindenesetre a felület alakjának eltérése a gömbtől oly minimális, hogy az alakítás pusztán polírozással történik.

Aki azonban a *Gregory*-rendszerű távcsővel kíván foglalkozni, a gyakorlatban rá fog jönni, hogy elméletileg nem lehet előre meghatározni, milyen legyen pontosan a segédtükör, vagyis milyen ellipszoid legyen. Paraboloid esetén nem létezik laposabb, vagy mélyebb paraboloid, amint gömb sincs laposabb vagy mélyebb egy meghatározott gyújtótávolság mellett. A hyperboloid és ellipszoid azonban sokféle lehet, lehet mélyebb és laposabb. Ez részint szerencse is. Nincsen ideális paraboloid a gyakorlatban, legfeljebb olyan, amely a hibahatárokon belül még jól megfelel. A paraboloid tükör esetleges kis hibáját a segédtükörrel korrigálni lehet, ha nem zónahibás, szabálytalan felületről van szó.

A Gregory-rendszer számítása

Képleteket alkalmaztunk a *Cassegrain*- és a *Nasmyth*-megoldásban, amelyek arra szolgáltak, hogy a főtükör adott fókusztávolsága és a fókusznyújtás mértékének ismeretében kiszámítsuk:

1. *milyen távolságra kell elhelyezni a segédtükröt és*
2. *milyen gyújtótávolságú legyen a segédtükör.*

Azok számára, akik a képletek levezetését követték, nem okozna külön gondot a képletek levezetése most sem. Ez alkalommal a levezetést nem közöljük, csak az eredményt.

A *Cassegrain*-megoldásban használt képletek kissé módosulnak. Ott a két tükör távolságára d-re $d = \frac{n \cdot f_1}{n + 1}$ volt érvényes, f_2t pedig a $\frac{d}{n - 1}$ képlet adta.

A *Gregory*-rendszerben:

$$\text{a két tükör távolsága } d = \frac{n \cdot f_1}{n - 1}$$

és a segédtükör gyújtótávolsága $f_2 = \frac{d}{n+1}$

Az eredő gyújtótávolság ellenőrző képlete szintén módosul annyiban, hogy az eddig ismert képletet negatív előjellel kell venni, tehát:

$$e = \frac{f_1 f_2}{d - f_1 - f_2}$$

Alkalmazzuk ezeket a képleteket az előbb felhozott példára.

Legyen tehát $f_1 = 120$ cm. A nagyítás, illetve a nyújtás kívánt mértéke legyen 4-szeres, tehát $n = 4$.

Ekkor:

$$d = \frac{4 \cdot 120}{4 - 1} = \frac{480}{3} = 160$$

$$f_2 = \frac{d}{n+1} = \frac{160}{5} = 32 \text{ cm}$$

Arra nézve, hogy helyesen számoltunk-e, alkalmazni kell az ellenőrző képletet is.

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{d - f_1 - f_2} = \frac{120 \cdot 32}{160 - 120 - 32} =$$

$$= \frac{120 \cdot 32}{8} = 480 \text{ cm}$$

vagyis valóban négyszeres nyújtást kapunk így.

A Cassegrain-, Coudé- és Gregory-rendszerek megoldása szerkesztéssel

A szerkesztési eljárások általában soha nem lehetnek olyan pontosak, mint a számításiak. Mégis jó hasznát vehetjük a szerkesztésnek is, mert jó közelítéssel eredményhez vezet.

Az alábbiakban egyetlen dolgot kell tudnunk, azt, hogy a főtükörről a segédtükör egy pontjához beeső sugarak ugyanazt a szöget zárják be a segédtükör beesési merőlegesével, mint a visszavert sugarak.

A gömbfelülettől csak ezredmilliméterrel eltérő felületekre a szerkesztésekben beesési merőlegesnek vehetjük a segédtükör görbületi sugarát.

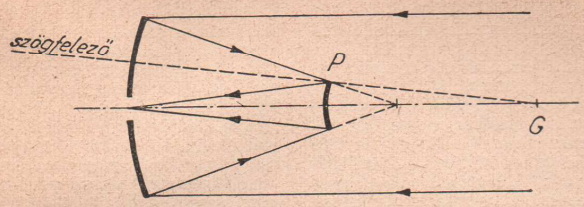
A feladat így alakul: ismerem a főtükörről a segédtükörre érkező sugarak irányát (elég most egyetlenegy is) és tudom azt, hogy kívánságom szerint hova kell a segédtükörnek a sugarakat visszaverni. Ismerem tehát a beeső és a visszavert sugarak irányát. A feladat a beesési merőleges megszerkesztése, ami egyben a görbületi sugár irányát is jelenti. Ez a feladat pedig roppant egyszerű, mert a beeső és visszavert sugarak szögét meg kell csak felezni s a szögfelező adja a segédtükör görbületi sugarának irányát. A görbületi sugár hosszát pedig egyszerűen kapom. A beesési merőlegest ugyanis az optikai tengelyig kell meghosszabbítani s ez a távolság lesz a kívánt görbületi sugár.

A viszonyokat a 45. rajz szemlélteti. Az *a)* kép a *Cassegrain* szerkesztési megoldását szemlélteti. A szögfelező egyenes *PG*-darabja adja a segédtükör görbületi sugarát, ennek fele a segédtükör negatív gyújtótávolsága (f_2). A *b)* kép a *coudé*-rendszer megoldását adja szerkesztéssel. Abban az esetben, ha a sugárnyalábot a tükörtől távolabb kívánjuk képpé egyesíteni, ugyanolyan átmérőjű segédtükör esetén a görbületi sugár növekszik, s vele együtt a segédtükör fókusztávolsága is. A *c)* kép a *Gregory*-rendszer megoldását mutatja be szerkesztéssel. Itt a szögfelezőt visszafelé kell meghosszabbítani, hogy el lehessen metszeni az optikai tengelyt. Itt is a *PG*-távolság adja a görbületi sugarat.

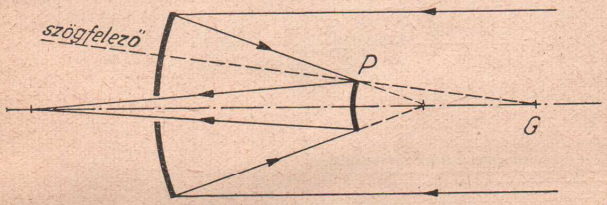
Az eddig elmondottakhoz azonban még hozzá kell tenni valamit, ami pedig elég lényeges. Itt önkényesen vettük fel a két tükör távolságát. Mindenesetre ez a tény rámutat egy lényeges dologra, arra, hogy minden tükörtávolságnál van egy fókusztávolság, amilyen fókusztávolság mellett a segédtükör a kívánt helyre gyűjti a fénysugarakat. A távolság azonban nem mindegy. Ha nagyon közel tesszük a segédtükröt, nagyméretűnek kell választani, ha viszont távol helyezzük, az átmérő ugyan kicsiny lesz, de erős lesz a görbülete.

A két tükörtávolság helyes megválasztásának azonban van egy elég egyszerű módja. Tudjuk azt, hogy milyen fókusznyújtásra törekszünk. A két tükör távolságát a *Cassegrain*-rendszerben ugyanúgy, mint a *Gregory*-rendszerben a megadott képletek szerint számítjuk ki, s az így számított távolságra végezzük el a szerkesztést. Illetve még ezt a számítást is elkerülhetjük, mert arra törekszünk, hogy a segédtükör ne takarjon el sokat a főtükörből s általában, minden esetben a segédtükör átmérőjét a főtükör átmérőjének ötödére, legfeljebb negyedére veszszük. Ügyeljünk arra, hogy a segédtükör nagyobb legyen, mint a sugárkúp átmérője, mert a rajzokban szereplő sugármenet csak pontszerű égitestek leképezésére érvényes.

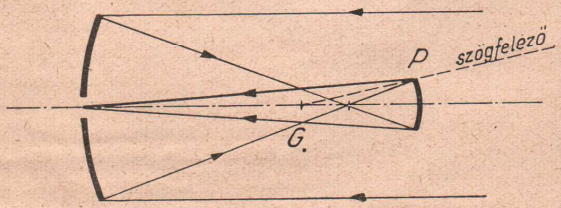
Dr. Kulin György



a, Cassegrain



b, Coudé



c, Gregory

45. ábra

ORGOVÁNYI JÁNOS:

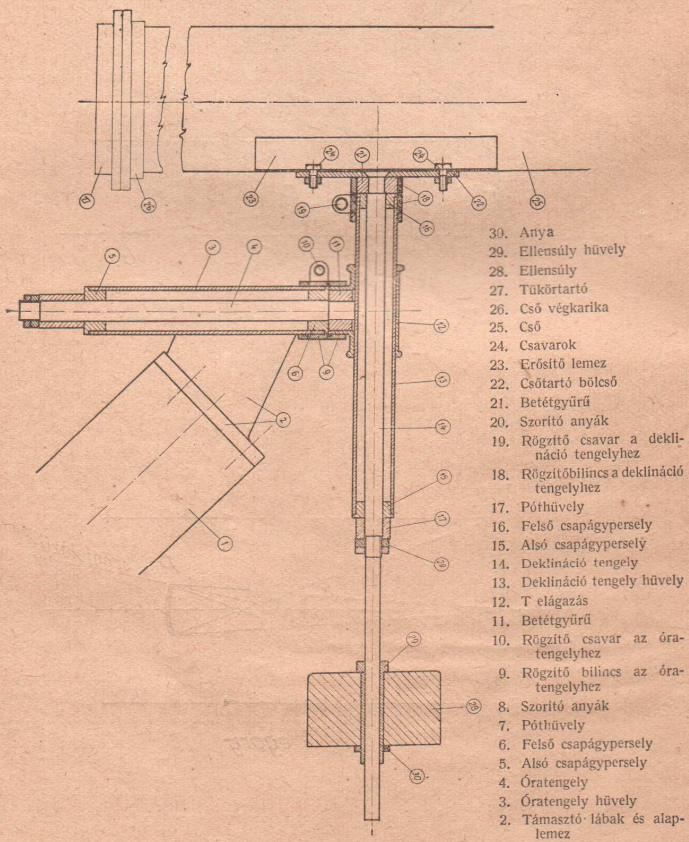
PARALLAKTIKUS TENGELYRENDSZER KÉSZÍTÉSE

Az amatőr távcsőépítők általános kívánsága, hogy egyszerűen elkészíthető, lehetőleg olcsón előállítható távcsőszerelési megoldást kapjanak.

Az alábbiakban olyan parallaktikus tengelyrendszert ismertetünk, melyet pár darab lakatosszerszámmal a legegyszerűbb anyagokból el lehet készíteni. A szükséges anyagokat a MÉH ócskavas-telepein be lehet szerezni. Természetesen olyan anyagokat válogassunk ki, melyek céljainknak megfelelően a legkevesebb munkával átalakíthatók.

Az itt ismertetett tengelyrendszert úgy szerkesztettük meg, hogy az amatőr csillagász távcsövével szemben támasztott igényeit azok fokozódása esetén is ki tudja elégíteni mind a minőség, mind a kényelmes kezelhetőség szempontjából.

Az egyes alkatrészek méretelnek helyes megválasztásával 10—15—20 cm átmérőjű tükrös távcsövekhez megfelelő szilárd,



46. ábra

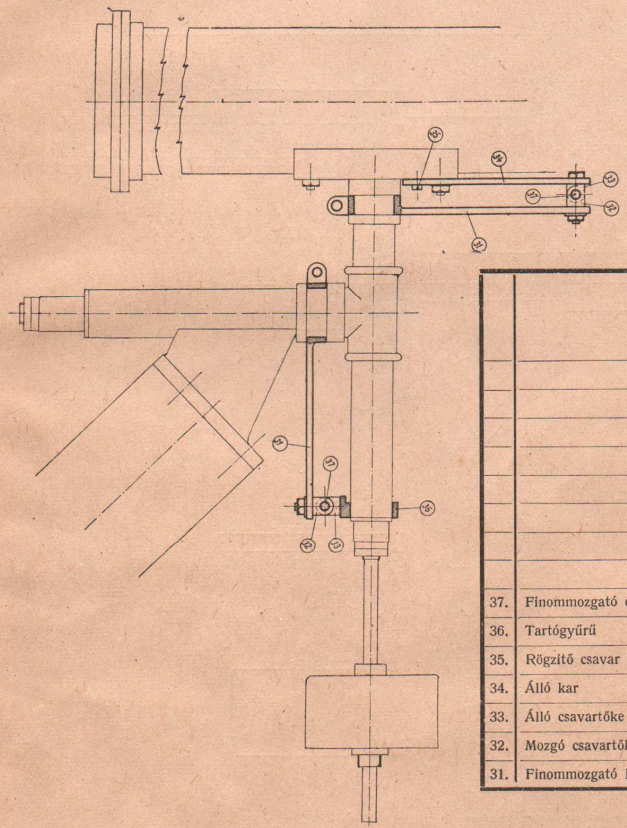
rezgésmentes tengelyrendszert készíthetünk.

Tengelyrendszerünket több lépésben készíthetjük el és fejleszthetjük tovább, igényeinknek megfelelően. Az egyes típusok mindegyike önmagában kész, befejezett egészet alkot. A különböző alkatrészek hozzáépítésével az alaptípusból készíthetjük el a finommozgatással ellátott, fok- és órabeosztásos tárcsákkal és leolvasó jelekkel rendelkező, valamint órahajtásos tengelyrendszerünket.

Az alaptípus. Az állványra — ami lehet a keretbe leásott fa, betonoszlop, vagy megfelelő vastagságú vascső, mozgatható vascsövekből hegesztett háromlábú állvány — csavarokkal erősítjük fel az alaplemezt, melyhez a földrajzi szélességnek megfelelő szögben erősítjük hozzá a két db háromszög alakú vaslemez segítségével az óratengely csapágyazására szolgáló csődarabot.

A csődarab két végébe rész-, bronz- vagy golyóscsapágyat sajtolunk be, ezekben forog az óratengely. Az óratengely felső végére egy T alakú csőrészt erősítünk, melynek két végébe helyezett csapágyakban forog a deklinációtengely.

A deklinációtengely egyik végére kerül a csőtartó, melyhez a távcsövet csavarozzuk hozzá, a másik hüvelyből kinyúló végére helyezzük az ellensúlyt. A csőtartó



37.	Finommozgató csavar	2
36.	Tartógyűrű	1
35.	Rögzítő csavar	2
34.	Álló kar	1
33.	Álló csavartőke	2
32.	Mozgó csavartőke	2
31.	Finommozgató kar	2

47. ábra

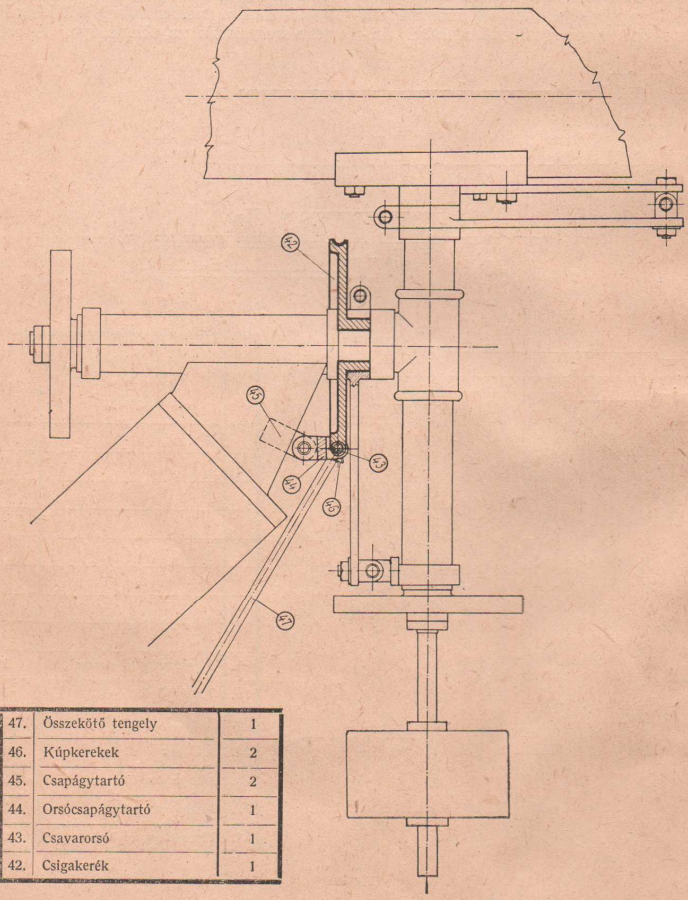
alsó részére és az óratengelyre erősített T-csőrész rövid szárára csavarozzuk a tengelyek rögzítésére szolgáló szorító bilincseket, ezek segítségével rögzítjük a tengelyeket a szorító csavarok meghúzásával.

Ennél az I. alaptípusnál a rögzítő csavarok lazítása után a távcső kézzel állítható a megfigyelendő objektumra.

A II. típust az alaptípus felhasználásával, további alkatrészek elkészítésével és felszerelésével alakítjuk ki (46. ábra).

A szorító bilincseket leszerelve, elkészítjük a két finommozgató kart, a mozgató csavarokat és az álló és mozgó csavartőkéket. Ezen alkatrészek felszerelése után a tengelyeket a szorító bilincsek meghúzása esetén a továbbító csavarokkal finoman elforgathatjuk. Ha a szorító bilincseket lazítjuk, a tengelyeket szabadon forgathatjuk bármely irányban.

A III. típusnál (47. ábra) az eddigi szerkezetünket óra- és fokbeosztásos tárcsákkal és leolvasó jelekkel látjuk el. A be-



47.	Összekötő tengely	1
46.	Kúpkerekek	2
45.	Csapágytartó	2
44.	Orsócsapágytartó	1
43.	Csavarorsó	1
42.	Csigakerék	1

48. ábra

osztott tárcsákat az óra- és deklinációtengely alsó végére szereljük fel, az alsó csavarágyazás mellé. A leolvasó jel (nonius) tartóját a tengelyek csavarágyazására szolgáló csőhüvelyek végére csavarozzuk fel. A beosztott tárcsák segítségével távcsövünket a csillagászati évkönyvek adatainak felhasználásával beállíthatjuk az égitestre. Ehhez azonban az szükséges, hogy távcsövünk fix felállítású legyen és megfelelően be legyen jusztírozva.

A IV. típus (48. ábra) elkészítéséhez az eddigi alkatrészeken kívül az órameghajtáshoz szükséges csigakereket szereljük fel az óratengely nyakára, a T-csőrész és az óratengely felső csapágya közé. A csigakerék az óratengelyre forgathatóan van felillesztve.

A csigakerék agyrészére illesztjük fel a finommozgató kar szorítóbilincsét. A finommozgató karon és csavaron semmi változtatást nem kell csinálni, az ugyanúgy felhasználható, ahogy a II. típusnál megcsináltuk.

A csigakerék továbbításához egy csavarorsót kell az állványra szerelni egy U alakú csapágyazásban. A csavarorsó menetei a csigakerék fogaiba belefekszenek és ha a csavarorsót forgatjuk, az a csigakereket elfordítja. A csigakerék nyakára rögzített finommozgató karon keresztül az elmozdulás átadódik az óratengelyre és távcsövünk követni fogja az égitestet.

A csavarorsó egyik végére szerelt kúpos fogaskerékpártól egy összekötő tengely megy le a meghajtó óragéphez, melyet az állvány oldalára szerelünk fel.

A meghajtó szerkezet lehet egy súllyal hajtott óramű, vagy megfelelően szabályozható fordulatszámú villanymotor. A fordulatszámot, illetve a fogaskerék áttételeket úgy kell megválasztani, hogy az óratengely pontosan egy csillagnap alatt forduljon egyet.

A fentiekben leírt szerkezeti részek elkészítéséhez és összeszereléséhez szükséges vázlatokat 10—15—20 cm átmérőjű tükrös távcsövekhez megfelelő méretekkel, valamint a leírást, lapunk következő számában fogjuk közölni.

Orgoványi János

A legnagyobb múzeumban kiállított meteorit a New York-i Hayden Planetarium múzeumában látható. Peary találta 1894-ben Észak-Grönlandban a Cap York közelében. Súlya 34 tonna. Ennél csak egy nagyobb tömegű meteoritot ismerünk, amely Délnyugat-Afrikában Grootfontein közelében esett le. Ez azonban nincs múzeumban kiállítva, hanem a leesés helyszínén található, részben a föld által betemetve.

Az RR Lyrae rövidperiódusú változócsillag mágneses tere. *H. W. Babcock mérései szerint az RR Lyrae rövidperiódusú cefeida változócsillagnak sikerült a mágneses terét megmérni. A kapott eredmények szerint a csillag térerőssége nagy intenzitású és erősen változó. Ez a felfedezés elméleti asztrofizikai szempontból is nagy fontossággal bír, mivel ez az első eset, amikor egy jól ismert és elméletileg sokat tárgyalt változócsillag mágneses terét sikerült vizsgálni.*

A szén gyakorisága a világegyetemben. P. W. Merrill vizsgálatai szerint egyik legfontosabb elem az általunk ismert térrészben a szén. Csak öt olyan elem ismeretes, amely a szénnél nagyobb gyakorisággal fordul elő. Becslés szerint a világegyetem minden szénatomjára 3 nitrogén, 6 neon, 7 oxigén, 600 hélium és 10 000 hidrogén atom esik.

A Magellán-felhők távolsága. *G. de Vaucouleurs diszkutálta a Magellán-felhők távolságmeghatározását. Tejútrendszerünk e két legközelebbi szomszédjának a távolságát hét különböző módszerrel lehet meghatározni. Ezek kritikai vizsgálata és a legújabb adatok tekintetbevételével Vaucouleurs a Magellán-felhők távolságára 150 000 fényévet kapott. A távolságmeghatározás pontossága 1000 fényév. Ezen hibahatár mellett nem mutatkozott a két felhő között távolságkülönbség.*

SZAKOSZTÁLYI ÉLET

Ankét a csillagászati ismeretterjesztésről

A budapesti Uránia Bemutató Csillagvizsgáló 1956 tavaszi csütörtöki előadássorozatának befejező összejövetelén, június 21-én a TTIT Központi Csillagászati- és Matematikai Szakosztálya ankétot rendezett a csillagászati ismeretterjesztésről. *Róka Gedeon* szakosztályi titkár vitaindító referátuma után az Uránia előadásainak állandó látogatói számos értékes észrevételt és javaslatot tettek, ami nagy segítséget jelent a további munkához.

A hozzászólók bírálták az ismeretterjesztés még ma is meglevő bürokratikus vonásait, mely nem széleskörű közvéleménykutatásra, az előadók és a közönség élő, eleven kapcsolatára támaszkodik. Kifogásolták egyes előadók módszerét, az ismeretek nem előre kidolgozott, rendszerezett, áttekinthető formában való közlését, a felesleges idegen szavak használatát, más esetekben pedig a vitás kérdésekben az egyik álláspontho z merev, dogmatikus ragaszkodást. Javasolták a tematika kibővítését: hívjunk meg többször fizikusokat, helyezzünk nagyobb súlyt az alapfogalmak ismertetésére.

Vita volt arról, hogy a tudomány független-e a világnézettől. A vita azzal zárult, hogy mint minden természettudományban, a csillagászatban is vannak egyrészt olyan adatok, tények (pl. az égitestek távolsága), amelyek függetlenek a világnézettől, másrészt a tények értelmezése, magyarázata, amelyek egy része viszont szoros összefüggésben van a világnézeti kérdésekkel. Az ismeretterjesztő munka egyoldalú, hiányos volna, ha csupán a tények egyszerű közlésére szorítkozna és elhagyná azok értelmezését. Több hozzászóló javasolta a csillagászat filozófiai problémáinak külön előadásokon való ismertetését is.

Az ankéton részvevők bírálták a Csillagok Világa első számát, helyesen mutatva rá, hogy nem volt indítószám, túl sok volt benne a beszámoló, a szerkesztőségnek jobban kell alkalmazkodni az olvasók igényéhez. Az ankéton tett javaslatok alapján valósult meg az 1956. évi Csillagászati Hét tudománytörténeti előadása és a távcsőkiállítás is.

A budapesti Uránia Ionoszféra csoportjának hírei. A munkacsoport a naptevékenység és a rádióhullámok terjedése közti kapcsolat vizsgálatát tűzte ki célul. E célból kísérleteztünk egy automatikus berendezéssel, mely egy kiválasztott adóállomás erejét méri állandóan, és ezt fel is jegyzi. Ezzel a berendezéssel kívánjuk folytatni azt a munkát, melyet ezelőtt négy évvel kezdtünk el és megfelelő berendezés híján csak füllel ítéltük meg az adóállomás erősségét. Eddig a fadingek (elhalkulások a vételben) és a naptevékenység közti kapcsolatot vizsgáltuk. Ezt a vizsgálatot, mely eddig is eredményesnek mutatkozott, precízebb alapokra tudjuk helyezni. Ez a vizsgálat nemcsak csillagászati szempontból érdekes, hanem geofizikai, meteorológiai szempontból is. A regisztrált adó Bratiszlava a 201 m-es hullámhosszon.

A rohamosan növekvő naptevékenységet már érezzük. 1956. szeptember 19-én például 11 óra 45 perckor a Bratiszlava adó térereje ugrásszerűen az eredeti érték 8-szorosára ugrott. Ez az állapot fél óráig tartott, majd eredeti értékére süllyedt. 14 óra 30 perckor, 15 óra 40 perckor és 16 óra 15 perckor újabb hirtelen, de az elsőnél gyengébb ugrásokat figyeltünk meg. Ilyen jelenséget a berendezés üzembehelyezése óta nem észleltünk. Igen gyakoriak voltak a vételkimaradások. 1956. szeptember 16-án egymásután háromszor tapasztaltunk teljes vételkimaradást: 20 óra 20 perckor, 23 óra 00 perckor, és 23 óra 30 perckor. Először egy teljes óráig, azután 10 percig és végül 30 percig szünetelt a vétel. A naptevékenység még egyre növekszik, erős maximumot várnak 1957-re. Így még igen sok vételi rendellenességre számíthatunk. *P. E.*

Vitaest az Eötvös-klubban. *A Csillagok Világa szerkesztősége június 19-én vitaestet rendezett az Eötvös-Klubban „Az élet lehetőségei és fizikai feltételei a Marson" címmel. A vitát* G u m a n I s t v á n, *a lap felelős szerkesztője vezette és mint felkért hozzászóló, közreműködött* K u l i n G y ö r g y, *a budapesti Uránia Csillagvizsgáló vezetője, a lap szerkesztőbizottságának tagja. A vita aktualitását az adta, hogy a Csillagok Világa hosszabb cikksorozatot közölt erről*

az érdeklődés középpontjában álló kérdésről és módot akart adni arra, hogy a lap olvasói is elmondják véleményüket.

Guman és Kulin referátumai után valóban igen élénk vita alakult ki, amelynek során a megjelent olvasók többsége úgy nyilatkozott, hogy meggyőzőbbnek tartják Tyihov érveit, aki a marsbeli élet mellett foglal állást, mint Feszenkovét, aki a magasabbrendű növényi élet létezését nem tartja valószínűnek. Guman felelős szerkesztő a zárszóban mutatott rá, hogy konkrét bizonyítékunk még ez ideig nincsen a marsbeli növényi életre vonatkozólag, akár az egyik, akár a másik álláspontho vaó merev ragaszkodás nem felelne meg a tényeknek.

A vita néhány elvi fontosságú kérdésre is rávilágított. Régebben az ismeretterjesztő előadásokon is elhangzottak olyan megállapítások, hogy a marsbeli élet tagadása idealista nézet volna. Valójában az a felfogás, hogy élet egyedül csak a Földön lehetséges, az idealizmus egyes áramlatainak nézőpontja, vannak viszont olyan hívei is az idealista világnézetnek, akik nem tagadják, hogy más égitesteken is lehetséges élet. A materialista világnézetből, az élet eredetének tudományos alapon való megoldásából csakis az következhet, hogy életnek kell lennie máshol is, nemcsak a Földön, de hogy éppen melyik bolygón vannak meg az ehhez szükséges feltételek, azt csak a tudomány döntheti el. A materializmus számára természetesen nagy jelentőségű volna, ha éppen a Mars bolygón sikerülne kimutatni az életet, mert egyelőre ez az egyetlen bolygó, amelyet ilyen szempontból valamelyest is vizsgálhatunk. A materialista álláspontnak azonban az sem ellenkezne, ha a Mars bolygón mégsem volna élet lehetséges.

A marsbeli élet lehetőségeinek mérlegelésével a hozászólók helyesen mutattak rá arra, hogy mechanikus szemlélet volna a jelenlegi földi élőlények körülményeit tenni meg a lehetőség mértékének, hiszen az élőlények alkalmazkodnak a környezethez. Egyes hozzászólók azonban a vita hevében túllőttek a célon, amikor elképzelhetőnek tartották a minden határon túli alkalmazkodást, vagy valami lényegében másfajta életről beszéltek, mint amit a Földön megismertünk. Engels klasszikus meghatározásával élve, a fehérjetestek létezési módját hívjuk életnek, és ott, ahol a fizikai körülmények nem teszik lehetővé a fehérjék létezését, életről nem beszélhetünk. A tudomány feladata a Marssal kapcsolatban is csak annak kutatása lehet, hogy megvannak-e a Marson az ehhez szükséges feltételek.

A szerkesztőség és az olvasók eleven kapcsolata a vitaesten is igen termékenynek bizonyult, szükség van azonban olyan összejövetelekre is, ahol nemcsak a lap egyik-másik cikkét vitatják meg, hanem az olvasók általában a szerkesztőség munkáját bírálják.

A GONDOLAT KÖNYV-, LAPKIADÓ ÉS TERJESZTŐ VÁLLALAT

kiadásában 1958 elején megjelenik

Kulin-Zerinváry: A TÁVCSŐ VILÁGA

című kétkötetes népszerű csillagászati kézikönyv, a már korábban megjelent és teljesen elfogyott, azonos című nagysikerű mű átdolgozott és újabb eredményekkel bővített kiadása.

★

Előjegyezhető a Gondolat Könyv-, Lapkiadó és Terjesztő-Vállalat, Budapest, VI., Révay utca 16.

GONDOLKOZZUNK ÉS SZÁMOLJUNK

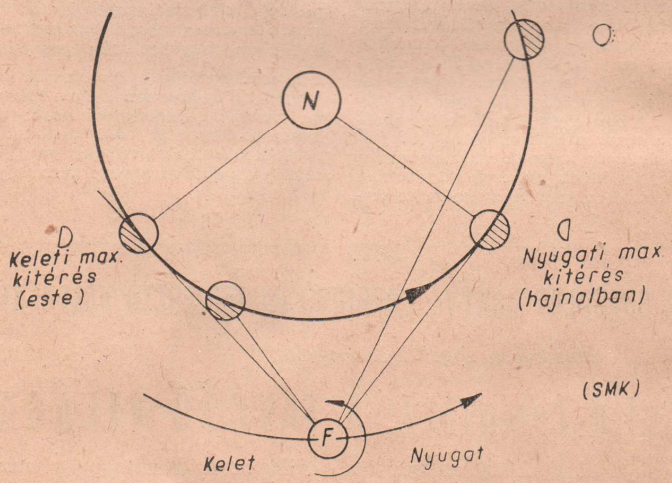
A CSILLAGOK VILÁGA REJTVÉNYROVATA

Megfejtések a 2. számból

1. feladat. „A Vénusz maximális kitérés esetén félkorong alakjában látszik és a meg nem fordító távcsőben fényes felét a Nap felé fordítja. Előtte és utána vagy sarló alakú, vagy több mint félkorong. Ha felénk közeledik, alsó konjunkcióba megy, akkor fogyó sarló; ha a Nap mögé megy felső együttállásba, akkor nő a megvilágított rész, habár az átmérője ugyanekkor csökken."

(Gallauner Károlyné megfejtése)

A szabatos megfejtéshez csupán még egy magyarázó ábrát mellékelünk:



49. ábra

2. feladat. Pontos választ a kérdésre csak *Pósa László* adott, bár nála hiányzik az indokolás. A számítás igen egyszerű. A rejtvény bevezető szövegében említettük, hogy a maximális kitérésnél a Vénusz távolsága az égbolton a Naptól kereken 46°. Tehát — amint az ábráról is leolvashatjuk — ilyenkor a Nap—Vénusz—Föld derékszögű háromszög Földnél levő szöge 46°. A Vénusznak tehát keleti legnagyobb kitéréstől alsó együttállásig 46°-kal, alsó együttállástól nyugati legnagyobb kitérésig ismét ugyanennyivel kell a Földhöz képest előrejutnia pályáján (mondhatnánk, ennyit kell „húznia" a Földön). Mármost a Vénusz előbbrejut pályáján naponta

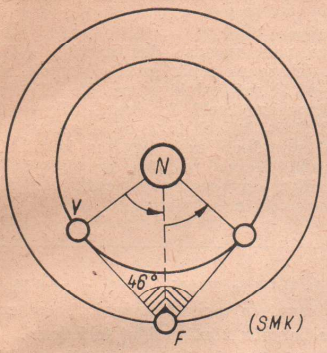
$$\frac{360^\circ}{225{,}7} = 1{,}595^\circ\text{-kal, a Föld } \frac{360^\circ}{365{,}25} = 0{,}985^\circ\text{-kal.}$$

Az előzés szöge tehát $1{,}595^\circ - 0{,}985^\circ = 0{,}62^\circ$, ennyivel jut előre a Vénusz naponként a Földhöz képest. A *keleti maximális kitéréstől a nyugati maximális elongációig* 92° előzés szükséges, időben tehát

$$\frac{92^\circ}{0{,}61^\circ} = 151 \text{ nap.}$$

Mivel az idén május 12-én volt keleti legnagyobb kitérés, azért a következő (nyugati!) maximális elongáció szeptem-

ber 10-e körül várható. A valódi időpont augusztus 31. (Az eltérés részben onnan ered, hogy nem minden maximális kité-



50. ábra

rés pontosan 46°, részben pedig onnan, hogy a Föld nyáron naptávolban van, lassabban halad és így a Vénusz az idén hamarabb előzi a szükséges 92°-kal.)

Nyugati legnagyobb kitéréstől a legközelebbi keleti elongációig sokkal több idő telik el; amint az ábrán is láthatjuk, a Vénusznak sokkal hosszabb íven (360°—92°=268°) kell előznie a Földet. A szükséges idő

$\frac{268°}{0{,}62°} = 439$ nap. A két időtartam összege a Vénusz szinódikus keringésideje, a fenti közelítésben 590 nap; pontosabb értéke 584 nap. Ennyi időnként ismétlődnek tehát a Vénusz kitérései *ugyanazon az oldalán* a Napnak.

Vagyis, ha a Vénusz mint esticsillag van legmesszebb a Naptól (keleti kitérés), ezt a kedvező helyzetét hamar elveszti és gyorsan megy át a reggeli (nyugati) legnagyobb kitérésbe. Ezt a kedvező helyzetet viszont lassan veszti el és ugyancsak lassan növekszik meg újra a maximálisra keleti (esti) távolsága.

3. feladat. „Maximális elongációk esetében sem egyformán kedvezők a megfigyelések. A bolygó megfigyelése jobb tavasszal, mert ekkor az ekliptika nagyobb szöggel hajlik a látóhatár, a horizont síkjához." (*Edelényi Elemér megfejtése.*) Annyit tehetnénk még hozzá a pontosság kedvéért: az ekliptika nagyobb szöggel hajlik a látóhatár síkjához *a kora esti órákban,* napnyugta után.

Kínálkozik itt még egy érdekes megjegyzés. Láttuk, hogy a Vénusz szinódikus keringésideje 584 nap, ennyi idő elteltével ismétlődnek az esti (ill. hajnali) maximális kitérések. Mármost az $\frac{584}{365}$ tört jól egyszerűsíthető: $\frac{584}{365} = \frac{8}{5}$ vagyis 5 szinódikus Vénusz-keringés csaknem pontosan 8 évvel egyenlő. *Nyolc évenként* tehát a Vénusz-elongációk *az évnek ugyanazon szakaszán ismétlődnek.* Ez természetesen vonatkozik az esti megfigyelésre igen kedvező tavaszi, április—májusi elongációra is. *Ezért keltett olyan feltűnést az 1956 tavaszán a Vénusz,* mert ez a 8 év aránylag hosszú idő lévén, *a nagyon kedvező esti elongációk nem mondhatók a köznapi értelemben gyakori jelenségnek,* elég szokatlanok.

4. feladat. A keleti égen: szeptember—október hónapban; a nyugati égen: február—márciusban. A magyarázat ismét az ekliptika és a horizont hajlásszöge, közvetlenül napkelte előtt, illetve napnyugta után.

5. feladat. A „Harvest Moon" magyarázata egyik megfejtésben sem volt egészen pontos, a legjobb válasz *Pósa Lászlóé.* A szabatosabb magyarázat a következő.

Egy égitest felkeltének időpontját (adott szélességen) koordinátái szabják meg. Ha csak a rektaszcenziót növeljük (az égitestet nyugatra „toljuk"), akkor a felkelés, delelés, lenyugvás egyaránt késik. Ha csak a deklinációt változtatjuk, akkor az északi féltekén a deklináció növekedése sietteti a felkelést, csökkentése késlelteti. (A delelést nem változtatja a deklináció változása.) A Hold állandóan nyugatra mozog, közelítőleg az ekliptika mentén, ezért felkelte, delelése nap mint nap késik. A felkelés késésének ellene dolgozik, azt *csökkenti a deklináció növekedése.* A késés nyilván akkor lesz a legkisebb, ha a deklináció növekedése a legerősebb. A deklináció az ekliptika mentén a legerősebben a tavaszpont környékén növekszik. A tavaszpont környékén van a *telihold* akkor, amikor a Nap az őszpont környékén jár; vagyis a telihold késése az őszi napéjegyenlőséghez legközelebbi holdtöltekor lesz legkisebb.

6. feladat. Erre sem futott be kifogástalan megoldás; a legjobb válasz *Gallauner Károlynétól* érkezett.

Egy év = 365,2500 nap = 12,368 lunáció; az évi eltolódás tehát 0,368 lunáció. A holdfázisok akkor fognak azonos dátumokra jutni, amikor ezek az eltolódá-

sok pontosan, vagy legalábbis megközelítően *egész számú* lunációt fognak kitenni. A 0,368-et sorban megszorozva az egész számokkal, láthatjuk, hogy az első jobb egyezés: 19,0, 368 = 6, 992 ≈ 7. Így 19 év elteltével egész számú lunáció telik el (19 év = 19,12, 368 ≈ 235 lunáció), vagyis a holdfázisok dátumai ismétlődnek. Az eltérés kb. 0,01 lunáció, tehát egy napnál kevesebb, de a szökőévek miatt az eltérés nagyobb is lehet.

7. *feladat.* A kérdést a legcélszerűbb a következőképp megközelíteni: ha az ekliptika a horizontba esik, akkor a tőle az égbolton 90° távolságra levő pontok éppen a zenitbe, illetve nadirba jutnak. Vegyük azt a pontot az ekliptikától 90°-nyira, amelyik az északi félgömbön van, az *ekliptika ún. északi pólusát.* Mivel az ekliptika az egyenlítővel 23,5° szöget zár be, ez a pont az egyenlítőtől 90° — 23,5° = 66,5° távolságra van, vagyis deklinációja +67,5°. Hol fekszenek tehát azok a pontok, ahol a +67,5° deklináció a zenitbe, illetve a nadirba kerülhet? Az északi, illetve déli *sarkkörön.* Mivel továbbá a szóbanforgó pont napjában csak egyszer kerülhet a zenitbe, illetve nadirba, az ekliptika és horizont egybeesése is *csak napjában egyszer* történhet meg.

Új holdak felfedezési valószínűsége. E kérdés vizsgálata különösen a bolygók tömegének a meghatározása szempontjából fontos. A bolygó körül keringő hold segítségével a harmadik Kepler-törvényt alkalmazva gyorsan és pontosan kiszámítható a bolygó tömege. Ezért volna nagy jelentőségű, ha egy a Merkur, Vénusz vagy a Plutó körül keringő holdat sikerülne felfedezni. E bolygók tömege tudniillik nem ismeretes olyan pontossággal mint a többieké, éppen a kísérő hiánya miatt.

A Merkur tömege csak 20%-os pontossággal ismeretes. Az Encke üstökös és az Erosz kisbolygó mozgásának a vizsgálatával határozták meg. A Vénusz tömegét a Merkur pályájára gyakorolt háborgatások segítségével határozták meg. A különböző kutatók adatai azonban itt sem egyezők, 1/409 000 és 1/407 000 naptömeg között mozognak. A Plutó tömege még ilyen pontossággal sem ismeretes, mivel az Uránusz és Neptunusz pályáira gyakorolt háborgatásai igen kicsinyek. Körülbelül a Föld tömegével egyenlőnek becsülik. Ez azonban az újabban mért 6000 km-es átmérővel nem nagyon egyeztethető össze, mivel ez tízszer nagyobb sűrűségre vezetne, mint a Földé. Ezek a problémák egy csapásra megoldódnának, ha sikerülne e bolygók körül holdat felfedezni.

A Merkur és Vénusz esetében a Nap közelsége az, mely az esetleg létező hold vagy holdak felfedezését megnehezíti. A Merkur esetében a helyet úgyszólván reménytelen. A Vénusz esetében a kísérő keresése a legnagyobb fényesség idején kísérelhető meg, mivel a hold is ugyanabban a fázisban lévén ekkor a legfényesebb. Itt megnehezíti a keresést, hogy a Vénusz csak rövid ideig látható napkelte előtt vagy napnyugta után, a hold pedig akkor látható, ha legnagyobb kitérésben van a bolygótól. A hold felfedezése tehát csak akkor lehetséges, ha e két időpont összeesik. A Plutó esetében csak akkor lehet kilátás egy kísérő felfedezésére, ha ez legalább 150 000 km távolságra kering a bolygó körül. Tudniillik csak ekkor lenne szétválasztható a hold és a Plutó az 5 méteres tükörteleszkóppal.

A fentiek szerint elég csekélynek látszik a felfedezés valószínűsége, azonban a helyzet nem is olyan reménytelen, ha meggondoljuk, hogy 1948- és 1949-ben G. P. Kuiper az Uránusz egy belső és a Neptunusz egy külső holdját fedezte fel.

A kiadásért felel: a Gondolat Kiadó igazgatója

3700 — Egyetemi Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Janka Gyula igazgató

BUDAPESTI URÁNIA BEMUTATÓ CSILLAGVIZSGÁLÓ

(I. Gellérthegy, Sánc u. 3/b)

Telefon: 258-268

A budapesti Uránia megközelíthető a 9-es, 18-as és 63-as villamosok bármelyikével, valamint az 1-es autóbusszal, a volt Erzsébet-híd *budai* hídfőjéig. Innen a Hegyalja úton nyolcperces gyalogút a Sánc utcáig. A 8-as autóbusz a Felszabadulás térről indul és a Sánc utca sarkán áll meg (Tigris utcai megálló).

A budapesti Uránia nyitvatartási rendje:

Előadások augusztus végéig esténként 8 órakor kezdődnek. A vetítéssel kísért előadások után távcsöves bemutatások. Egyéni látogatók az Urániát előzetes bejelentés nélkül látogathatják, és annak minden programjában részt vehetnek. Csoportok részére előzetes bejelentés esetén kívánság szerinti csillagászati témáról előadás. Az előadásokra legalább egy héttel a tervezett látogatás előtt jelentkezhetnek a csoportok. A bejelentés telefonon is megejthető.

A bemutatásokat külön, az előadáson való részvétel nélkül is lehet látogatni.

Belépődíj személyenként 2 Ft, iskoláknak csoportos látogatás esetén (legalább 30 fő) személyenként 1 Ft.

Vidéki csoportok levélben is jelentkezhetnek!

Lapunk 2. számában észrevett néhány értelemzavaró sajtóhiba

Címlapunk belső oldalán, a **Címképünk** aláírásban:

A kónai krónikákban . . .
Helyesen: A kínai krónikákban . . .
91. oldal 1. sor: . . . gázanyagok igen kevés . . .
Helyesen: . . . gázanyagok igen heves . . .

Dupla szám ára 12.— Ft

A budapesti Urániában a pénztárosnál kaphatók a Társulat csillagászati kiadványai és néhány régebbi csillagászati munka:

Csillagászati Évkönyv az 1956. évre .. .. ára 8,— Ft
Stella Évkönyvek az 1925—32. évre .. .. darabonként 5—8,— Ft

A Csillagászati Évkönyvek számos érdekes népszerű tudományos cikket közölnek. Táblázatos részük naptárként is használható. Ezenkívül tartalmazzák a Nap, Hold és a bolygók fontosabb adatait, a szürkületre vonatkozó adatokat stb.

Kaphatók még:

Gyakorlati csillagászat (Egyszerű eszközökkel végezhető csillagászati megfigyelések gyűjteménye) .. .. ára 12,— Ft
Uránia Kiskönyvek, számonként .. .. ára 5,— Ft
Utazás a bolygók között .. .. ára 3,— Ft
Levegő meghódítása .. .. ára 4,— Ft
Stella csill. folyóirat, számonként .. .. ára 2,— Ft
Csillagászati Lapok, számonként .. .. ára 2,— Ft

*

Megjelent az 1957. évi Csillagászati Évkönyv. Tartalmazza a szokásos beszámolókat az Akadémiai Csillagvizsgáló, a Központi Szakosztály, valamint az Urániák munkájáról. Ezután az alábbi népszerű, tudományos cikkeket közli:

Antonie Panekoek: A csillagászat eredete.
Dezső Loránt: Mivel foglalkozik a csillagászat?
Izsák Imre: A matematika szerepe a csillagászatban.
Marx György: Az elemi részecskék szerepe a világmindenség felépítésében.
Szimán Oszkár: Fényképezés a csillagászatban.
Herczeg Tibor: Mit tudunk az üstökösök, kisbolygók, meteorok eredetéről?
Sinka József: Az űrhajózás kultúrtörténete.

A táblázatos részben az évenként ugyanazon adatokkal visszatérő részek helyett újabb adatokat közlünk a bolygórendszerről, az égi mechanika területéről, a zónaidők számítási rendszeréről stb.

Az 1957. évi Csillagászati Évkönyv .. .. ára 13,— Ft