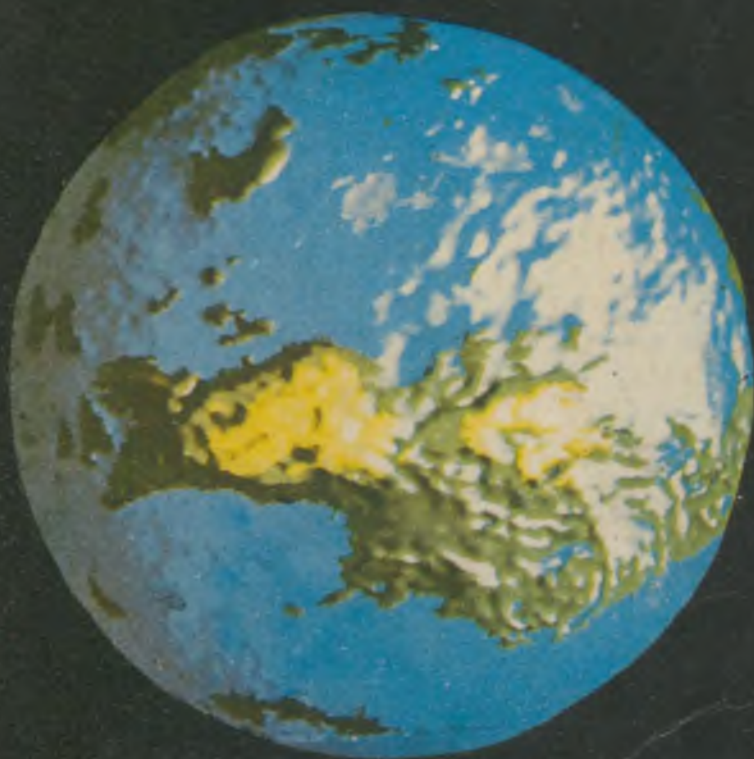
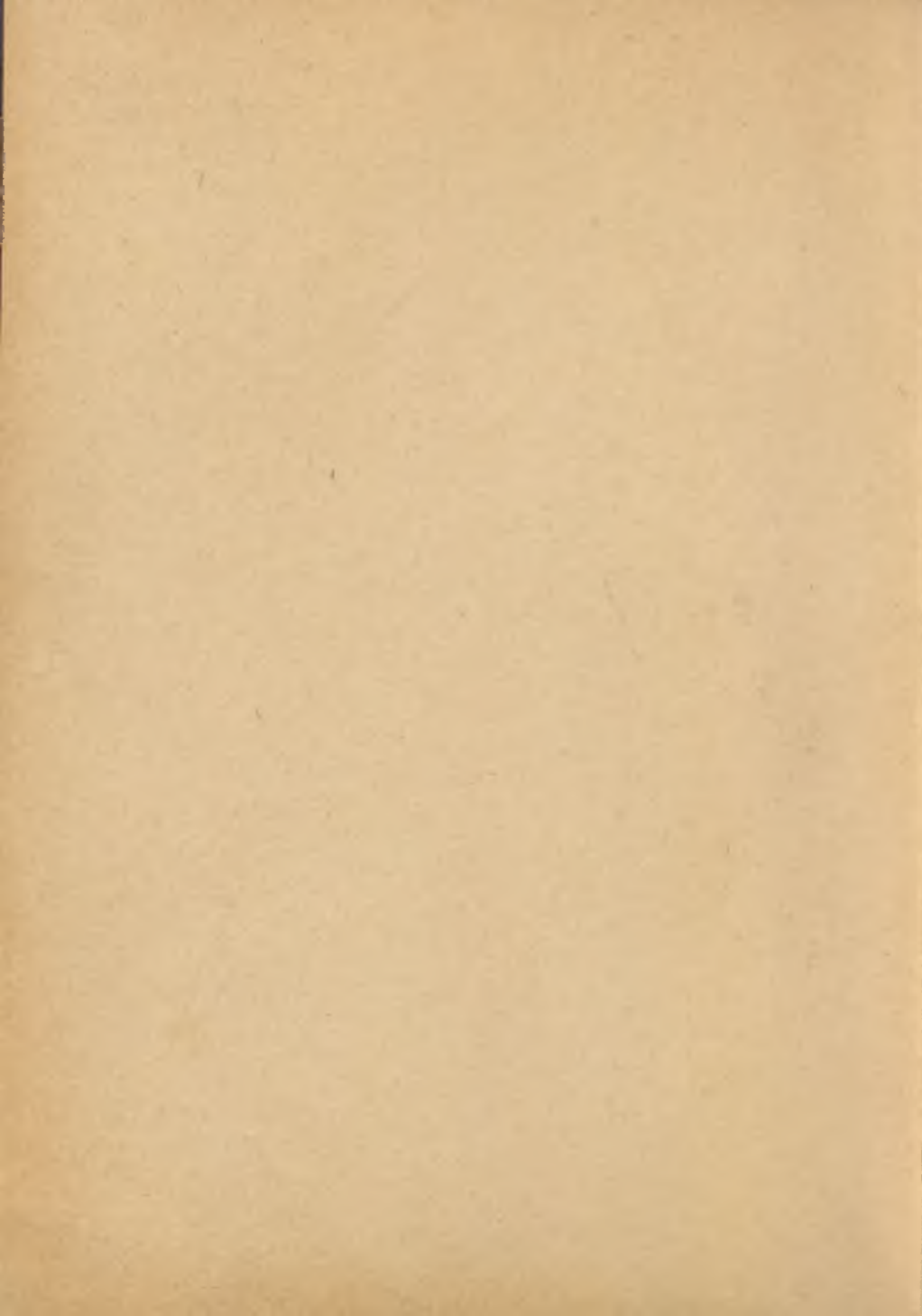


CSILLAGÁSZATI ÉVKÖNYV

1982





CSILLAGÁSZATI ÉVKÖNYV



CSILLAGÁSZATI ÉVKÖNYV

az 1982. évre

Szerkesztette

a TIT Csillagászati és Űrkutatási Választmánya,
az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csillagászati Csoportjának
és
a MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztályának
közreműködésével

Gondolat Kiadó · Budapest, 1981.

Címkepiünkön: A Vénusz színes térképét számítógép segítségével egy gömb felszínére projektálták, s a domborzati hatások jobb elkülöníthetősége érdekében mesterségesen árnyalták. A korong közepe az egyenlítő és a 90°-os hosszúság metszéspontjára esik. A megfigyelhető, zöld és sárga színnel jelzett magasföld az Aphrodité. (NASA)

Hátsó borítónkon: A 295. oldal ábráján látható kép nyolc szintes hisztogram-egalizálással készült feldolgozása. A színkódolás a felszíni fényességre vonatkozik. Ez a kép ugyanazzal a technikával de más színtkompozícióval készült, mint a VIII. tábla

© ISSN 0526—233 X

Gondolat Kiadó, 1981

CSILLAGÁSZATI ADATOK AZ 1982. ÉVRE

Az adatokat összeállították
az MTA Napfizikai Observatórium kutatói

FIGYELEM!

A közép-európai zónaidőben (KözEI) megadott
időadatokhoz a nyári időszámítás tartama alatt
1^h-t hozzá kell adni!

I. JANUÁR

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					A HOLD fény-változásai
				Budapesten					
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	P	(1)	1	7 32	11 48	16 03	11 05	22 20	☾ 05 46
2	Sz		2	7 32	11 48	16 04	11 30	23 30	
3	V	2	3	7 32	11 49	16 05	11 55	—	☉ 20 54
4	H		4	7 32	11 49	16 06	12 21	0 43	
5	K		5	7 32	11 49	16 07	12 50	1 58	
6	Sz	3	6	7 32	11 50	16 08	13 25	3 15	☾ 00 59
7	Cs		7	7 31	11 50	16 09	14 06	4 33	
8	P		8	7 31	11 51	16 11	14 57	5 49	
9	Sz		9	7 31	11 51	16 12	15 57	6 58	
10	V		10	7 30	11 52	16 13	17 05	7 57	
11	H	4	11	7 30	11 52	16 14	18 18	8 45	☉ 05 57
12	K		12	7 29	11 52	16 16	19 33	9 25	
13	Sz		13	7 29	11 53	16 17	20 46	9 57	
14	Cs		14	7 28	11 53	16 18	21 54	10 24	
15	P	5	15	7 28	11 54	16 20	23 01	10 48	
16	Sz		16	7 27	11 54	16 21	—	11 11	
17	V		17	7 26	11 54	16 22	0 07	11 34	
18	H		18	7 26	11 55	16 24	1 10	11 57	
19	K		19	7 25	11 55	16 25	2 13	12 23	
20	Sz		20	7 25	11 55	16 27	3 14	12 52	
21	Cs		21	7 24	11 55	16 28	4 14	13 27	
22	P		22	7 22	11 55	16 30	5 12	14 07	
23	Sz		23	7 21	11 56	16 31	6 06	14 54	
24	V		24	7 20	11 56	16 33	6 53	15 49	
25	H		25	7 19	11 56	16 34	7 35	16 49	
26	K		26	7 18	11 57	16 36	8 11	17 54	
27	Sz		27	7 17	11 57	16 37	8 41	19 02	
28	Cs		28	7 16	11 57	16 39	9 09	20 11	
29	P		29	7 15	11 57	16 40	9 35	21 22	
30	Sz		30	7 14	11 57	16 42	10 00	22 33	
31	V		31	7 12	11 58	16 43	10 25	23 46	

Hold: 8-án 12ⁿ-kor földközélen
20-án 14ⁿ-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2444...	Csillagidő (λ = 0 ^h -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látászó sugara	RA	D
	h m s	h m	° ′	° ′	h m	° ′
...970,5	6 41 16,276	18 44,6	—23 03	16 17	23 04,8	—10 21
971,5	6 45 12,829	18 49,0	22 58	16 17	23 54,3	5 48
972,5	6 49 09,382	18 53,4	22 52	16 18	0 44,0	— 0 52
973,5	6 53 05,934	18 57,8	22 47	16 18	1 35,0	+ 4 13
974,5	6 57 02,488	19 02,2	22 40	16 18	2 28,0	9 14
975,5	7 00 59,046	19 06,6	22 34	16 18	3 23,8	13 51
976,5	7 04 55,606	19 11,0	22 26	16 17	4 22,9	17 44
977,5	7 08 52,170	19 15,3	22 19	16 17	5 25,2	20 30
978,5	7 12 48,735	19 19,7	22 11	16 17	6 29,5	21 50
979,5	7 16 45,300	19 24,0	22 02	16 17	7 34,1	21 37
980,5	7 20 41,862	19 28,4	21 53	16 17	8 36,8	19 54
981,5	7 24 38,422	19 32,7	21 44	16 17	9 36,4	16 56
982,5	7 28 34,978	19 37,1	21 34	16 17	10 32,0	13 04
983,5	7 32 31,531	19 41,4	21 24	16 17	11 24,1	8 39
984,5	7 36 28,083	19 45,7	21 13	16 17	12 13,2	+ 3 58
985,5	7 40 24,634	19 50,0	21 02	16 17	13 00,3	— 0 45
986,5	7 44 21,186	19 54,3	20 51	16 17	13 46,2	5 19
987,5	7 48 17,740	19 58,5	20 39	16 17	14 31,8	9 34
988,5	7 52 14,295	20 02,8	20 27	16 17	15 17,8	13 24
989,5	7 56 10,852	20 07,0	20 14	16 17	16 04,9	16 40
990,5	8 00 07,410	20 11,3	20 01	16 17	16 53,3	19 15
991,5	8 04 03,970	20 15,5	19 48	16 17	17 43,3	21 02
992,5	8 08 00,530	20 19,7	19 34	16 17	18 34,7	21 53
993,5	8 11 57,090	20 23,9	19 20	16 16	19 26,9	21 43
994,5	8 15 53,649	20 28,1	19 06	16 16	20 19,3	20 31
995,5	8 19 50,207	20 32,3	18 51	16 16	21 11,5	18 19
996,5	8 23 46,762	20 36,4	18 36	16 16	22 02,8	15 12
997,5	8 27 43,316	20 40,6	18 20	16 16	22 53,2	11 20
998,5	8 31 39,867	20 44,7	18 04	16 16	23 43,0	6 52
999,5	8 35 36,417	20 48,8	17 48	16 16	0 32,6	— 2 00
45000,5	8 39 32,967	20 52,9	—17 32	16 16	1 22,7	+ 3 02

Föld: 4-én 12^h 11^m-kor napközben

I. FEBRUÁR

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)						
				Budapesten					A HOLD fény-változásai	
				A NAP			A HOLD			
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik		
				h m	h m	h m	h m	h m	h m	
1	H	6	32	7 11	11 58	16 45	10 52	—		☾ 15 29
2	K		33	7 10	11 58	16 46	11 24	1 00		
3	Sz		34	7 09	11 58	16 48	12 00	2 15		
4	Cs		35	7 07	11 58	16 50	12 44	3 29		
5	P		36	7 06	11 58	16 51	13 39	4 39		
6	Sz	7	37	7 05	11 58	16 53	14 41	5 41		☉ 08 58
7	V		38	7 03	11 58	16 54	15 52	6 34		
8	H		39	7 02	11 58	16 56	17 06	7 17		
9	K		40	7 00	11 58	16 57	18 21	7 53		
10	Sz		41	6 59	11 58	16 59	19 33	8 22		
11	Cs	8	42	6 57	11 58	17 00	20 43	8 48		☾ 21 22
12	P		43	6 55	11 58	17 02	21 50	9 12		
13	Sz		44	6 54	11 58	17 04	22 56	9 35		
14	V		45	6 52	11 58	17 05	—	9 59		
15	H		46	6 50	11 58	17 07	0 00	10 23		
16	K	9	47	6 49	11 58	17 08	1 03	10 52		● 22 14
17	Sz		48	6 47	11 58	17 10	2 03	11 24		
18	Cs		49	6 46	11 58	17 12	3 02	12 02		
19	P		50	6 44	11 58	17 13	3 58	12 47		
20	Sz		51	6 42	11 58	17 15	4 47	13 38		
21	V	9	52	6 40	11 58	17 16	5 31	14 37		
22	H		53	6 38	11 58	17 18	6 10	15 41		
23	K		54	6 37	11 58	17 19	6 42	16 49		
24	Sz		55	6 35	11 57	17 21	7 12	17 59		
25	Cs		56	6 33	11 57	17 22	7 38	19 10		
26	P		57	6 31	11 57	17 24	8 03	20 22		
27	Sz		58	6 29	11 57	17 25	8 29	21 36		
28	V		59	6 28	11 57	17 27	8 56	22 51		

Hold: 5-én 15^h-kor földközeli
17-én 9^h-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő (λ = 0 ^h -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látzó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	' "	h m	° '
...001,5	8 43 29,519	20 57,0	--17 15	16 15	2 14,0	+ 8 00
002,5	8 47 26,073	21 01,1	16 58	16 15	3 07,5	12 38
003,5	8 51 22,630	21 05,2	16 41	16 15	4 03,7	16 38
004,5	8 55 19,190	21 09,2	16 23	16 15	5 02,8	19 42
005,5	8 59 15,752	21 13,3	16 05	16 15	6 04,4	21 31
006,5	9 03 12,314	21 17,3	15 47	16 15	7 07,3	21 55
007,5	9 07 08,875	21 21,3	15 28	16 15	8 09,8	20 49
008,5	9 11 05,433	21 25,3	15 10	16 14	9 10,3	18 23
009,5	9 15 01,988	21 29,3	14 51	16 14	10 07,8	14 51
010,5	9 18 58,540	21 33,2	14 31	16 14	11 02,0	10 34
011,5	9 22 55,090	21 37,2	14 12	16 14	11 53,2	5 51
012,5	9 26 51,638	21 41,1	13 52	16 14	12 42,0	+ 1 00
013,5	9 30 48,188	21 45,1	13 32	16 14	13 29,3	- 3 45
014,5	9 34 44,738	21 49,0	13 12	16 13	14 15,8	8 13
015,5	9 38 41,290	21 52,9	12 52	16 13	15 02,3	12 16
016,5	9 42 37,844	21 56,8	12 31	16 13	15 49,4	15 46
017,5	9 46 34,399	22 00,7	12 10	16 13	16 37,6	18 36
018,5	9 50 30,956	22 04,5	11 49	16 13	17 27,1	20 38
019,5	9 54 27,513	22 08,4	11 28	16 12	18 17,9	21 47
020,5	9 58 24,071	22 12,2	11 07	16 12	19 09,8	21 56
021,5	10 02 20,628	22 16,1	10 45	16 12	20 02,2	21 04
022,5	10 06 17,184	22 19,9	10 24	16 12	20 54,7	19 09
023,5	10 10 13,737	22 23,7	10 02	16 11	21 46,8	16 15
024,5	10 14 10,289	22 27,5	9 40	16 11	22 38,3	12 31
025,5	10 18 06,838	22 31,3	9 18	16 11	23 29,1	8 05
026,5	10 22 03,386	22 35,1	8 55	16 11	0 19,6	- 3 11
027,5	10 25 59,934	22 38,9	8 33	16 11	1 10,4	+ 1 56
028,5	10 29 56,483	22 42,7	- 8 10	16 10	2 02,0	+ 7 01

I. MÁRCIUS

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai időzónában (KözEi)						A HOLD fény-változásai
				Budapestben					A HOLD fény-változásai	
				A NAP			A HOLD			
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik		
				h m	h m	h m	h m	h m	h m	
1	H	10	60	6 26	11 57	17 28	9 25	—	☾ 23 16	
2	K		61	6 24	11 56	17 30	10 00	0 06		
3	Sz		62	6 22	11 56	17 31	10 41	1 20		
4	Cs		63	6 20	11 56	17 33	11 30	2 29		
5	P		64	6 18	11 56	17 34	12 28	3 32		
6	Sz		65	6 16	11 56	17 36	13 34	4 27	☉ 21 46	
7	V		66	6 14	11 56	17 37	14 45	5 12		
8	H	11	67	6 12	11 55	17 39	15 59	5 50		
9	K		68	6 10	11 55	17 40	17 11	6 21		
10	Sz		69	6 08	11 55	17 42	18 23	6 47		
11	Cs		70	6 06	11 54	17 43	19 31	7 12	☾ 18 15	
12	P		71	6 04	11 54	17 45	20 39	7 55		
13	Sz		72	6 02	11 54	17 46	21 44	7 59		
14	V		73	6 00	11 53	17 48	22 50	8 23		
15	H	12	74	5 58	11 53	17 49	23 52	8 50		
16	K		75	5 56	11 53	17 50	—	9 21	☉ 11 18	
17	Sz		76	5 55	11 53	17 52	0 52	9 56		
18	Cs		77	5 53	11 52	17 53	1 49	10 38		
19	P		78	5 50	11 52	17 55	2 40	11 27		
20	Sz		79	5 48	11 52	17 56	3 26	12 22		
21	V		80	5 46	11 51	17 58	4 06	13 23	☉ 11 18	
22	H	13	81	5 44	11 51	17 59	4 42	14 29		
23	K		82	5 42	11 51	18 00	5 12	15 40		
24	Sz		83	5 40	11 51	18 02	5 39	16 52		
25	Cs		84	5 38	11 51	18 03	6 05	18 05		
26	P		85	5 36	11 50	18 05	6 31	19 20	☉ 11 18	
27	Sz		86	5 34	11 50	18 06	6 57	20 37		
28	V		87	5 32	11 49	18 08	7 26	21 54		
29	H	14	88	5 30	11 49	18 09	8 00	23 10		
30	K		89	5 28	11 49	18 10	8 38	—		
31	Sz		90	5 26	11 48	18 12	9 26	0 23		

Hold: 4-én 6^h-kor földközélen
17-én 6^h-kor földtávolban
29-én 8^h-kor földközélen

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő ($\lambda = 0^h$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látózó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	' "	h m	° '
...029,5	10 33 53,034	22 46,4	—7 48	16 10	2 55,2	+11 47
030,5	10 37 49,588	22 50,2	7 25	16 10	3 50,5	15 57
031,5	10 41 46,144	22 53,9	7 02	16 10	4 48,1	19 13
032,5	10 45 42,703	22 57,6	6 39	16 09	5 47,8	21 19
033,5	10 49 39,263	23 01,4	6 16	16 09	6 48,8	22 05
034,5	10 53 35,821	23 05,1	5 53	16 09	7 49,7	21 26
035,5	10 57 32,378	23 08,8	5 29	16 09	8 49,3	19 26
036,5	11 01 28,932	23 12,5	5 06	16 08	9 46,6	16 18
037,5	11 05 25,483	23 16,2	4 43	16 08	10 41,2	12 17
038,5	11 09 22,031	23 19,9	4 19	16 08	11 33,0	7 42
039,5	11 13 18,579	23 23,6	3 56	16 08	12 22,7	+ 2 50
040,5	11 17 15,126	23 27,2	3 32	16 07	13 10,9	— 2 03
041,5	11 21 11,674	23 30,9	3 09	16 07	13 58,1	6 44
042,5	11 25 08,223	23 34,6	2 45	16 07	14 45,2	11 03
043,5	11 29 04,775	23 38,2	2 21	16 07	15 32,6	14 49
044,5	11 33 01,328	23 41,9	1 58	16 06	16 20,8	17 56
045,5	11 36 57,883	23 45,6	1 34	16 06	17 10,1	20 16
046,5	11 40 54,439	23 49,2	1 10	16 06	18 00,4	21 43
047,5	11 44 50,996	23 52,9	0 46	16 05	18 51,8	22 12
048,5	11 48 47,552	23 56,5	—0 23	16 05	19 43,7	21 40
049,5	11 52 44,107	0 00,2	+0 01	16 05	20 35,8	20 06
050,5	11 56 40,660	0 03,8	0 25	16 05	21 27,8	17 32
051,5	12 00 37,211	0 07,4	0 48	16 04	22 19,4	14 03
052,5	12 04 33,760	0 11,1	1 12	16 04	23 10,7	9 46
053,5	12 08 30,308	0 14,7	1 36	16 04	0 01,9	— 4 54
054,5	12 12 26,855	0 18,4	1 59	16 04	0 53,5	+ 0 19
055,5	12 16 23,402	0 22,0	2 23	16 03	1 46,0	5 37
056,5	12 20 19,952	0 25,7	2 46	16 03	2 40,0	10 41
057,5	12 24 16,505	0 29,3	3 10	16 03	3 36,1	15 11
058,5	12 28 13,061	0 32,9	3 33	16 02	4 34,3	18 46
059,5	12 32 09,619	0 36,6	+3 56	16 02	5 34,2	+21 12

Föld: 20-án 23^h 56^m-kor tavasz kezdete (KözEI)

I. ÁPRILIS

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)						A HOLD fény-változásai
				Budapestben						
				A NAP			A HOLD			
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik		
				h m	h m	h m	h m	h m	h m	
1	Cs	(14)	91	5 24	11 48	18 13	10 20	1 29	☾ 06 09	
2	P		92	5 22	11 48	18 15	11 24	2 26		
3	Sz		93	5 20	11 48	18 16	12 33	3 12		
4	V		94	5 18	11 47	18 17	13 45	3 51		
5	H	15	95	5 16	11 47	18 19	14 56	4 22		
6	K		96	5 14	11 47	18 20	16 06	4 50		
7	Sz		97	5 12	11 46	18 22	17 16	5 15		
8	Cs		98	5 10	11 46	18 23	18 23	5 38	☉ 11 19	
9	P		99	5 08	11 46	18 24	19 30	6 01		
10	Sz		100	5 06	11 46	18 26	20 35	6 24		
11	V	16	101	5 04	11 45	18 27	21 40	6 50		
12	H		102	5 02	11 45	18 29	22 41	7 19		
13	K		103	5 00	11 45	18 30	23 40	7 52		
14	Sz		104	4 58	11 44	18 32	—	8 31		
15	Cs		105	4 57	11 44	18 33	0 33	9 17		
16	P		106	4 55	11 44	18 34	1 22	10 09	☾ 13 43	
17	Sz		107	4 53	11 44	18 36	2 03	11 07		
18	V		108	4 51	11 44	18 37	2 40	12 11		
19	H	17	109	4 49	11 43	18 39	3 12	13 18		
20	K		110	4 47	11 43	18 40	3 39	14 28		
21	Sz		111	4 45	11 43	18 41	4 06	15 41		
22	Cs		112	4 44	11 43	18 43	4 30	16 56		
23	P		113	4 42	11 43	18 44	4 57	18 13	● 21 30	
24	Sz		114	4 40	11 42	18 46	5 24	19 33		
25	V		115	4 38	11 42	18 47	5 56	20 52		
26	H	18	116	4 36	11 42	18 48	6 33	22 10		
27	K		117	4 35	11 42	18 50	7 19	23 20		
28	Sz		118	4 33	11 42	18 51	8 13	—		
29	Cs		119	4 31	11 42	18 52	9 15	0 22		
30	P		120	4 30	11 41	18 54	10 23	1 13	☾ 13 08	

Hold: 14-én 1^h-kor földtávolban
25-én 22^h-kor földközelen

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő ($\lambda = 0^h$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látszó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	' "	h m	° '
...060,5	12 36 06,179	0 40,2	+ 4 20	16 02	6 35,2	+ 22 16
061,5	12 40 02,738	0 43,9	4 43	16 02	7 35,8	21 56
062,5	12 43 59,295	0 47,5	5 06	16 01	8 34,9	20 14
063,5	12 47 55,849	0 51,2	5 29	16 01	9 31,7	17 24
064,5	12 51 52,401	0 54,8	5 52	16 01	10 25,8	13 38
065,5	12 55 48,950	0 58,5	6 15	16 01	11 17,2	9 14
066,5	12 59 45,498	1 02,1	6 37	16 00	12 06,7	+ 4 27
067,5	13 03 42,045	1 05,8	7 00	16 00	12 54,6	— 0 27
068,5	13 07 38,593	1 09,4	7 22	16 00	13 41,8	5 15
069,5	13 11 35,142	1 13,1	7 45	15 59	14 28,8	9 45
070,5	13 15 31,694	1 16,8	8 07	15 59	15 16,2	13 47
071,5	13 19 28,248	1 20,4	8 29	15 59	16 04,4	17 11
072,5	13 23 24,803	1 24,1	8 51	15 59	16 53,6	19 49
073,5	13 27 21,360	1 27,8	9 12	15 58	17 43,7	21 36
074,5	13 31 17,917	1 31,5	9 34	15 58	18 34,7	22 25
075,5	13 35 14,474	1 35,2	9 56	15 58	19 26,1	22 13
076,5	13 39 11,031	1 38,9	10 17	15 58	20 17,7	21 01
077,5	13 43 07,586	1 42,6	10 38	15 57	21 09,0	18 49
078,5	13 47 04,139	1 46,3	10 59	15 57	22 00,0	15 41
079,5	13 51 00,690	1 50,1	11 20	15 57	22 50,6	11 42
080,5	13 54 57,239	1 53,8	11 40	15 56	23 41,3	7 02
081,5	13 58 53,787	1 57,5	12 01	15 56	0 32,6	— 1 53
082,5	14 02 50,336	2 01,3	12 21	15 56	1 24,9	+ 3 32
083,5	14 06 46,886	2 05,0	12 41	15 56	2 19,2	8 52
084,5	14 10 43,440	2 08,8	13 01	15 55	3 15,8	13 47
085,5	14 14 39,997	2 12,6	13 20	15 55	4 15,0	17 53
086,5	14 18 36,557	2 16,3	13 39	15 55	5 16,4	20 50
087,5	14 22 33,118	2 20,1	13 59	15 55	6 19,0	22 22
088,5	14 26 29,680	2 23,9	14 18	15 54	7 21,3	22 24
089,5	14 30 26,240	2 27,7	+ 14 36	15 54	8 21,9	+ 20 59

I. MÁJUS

Datum	A hét napja	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					
				Budapest					A HOLD fény-változásai
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	Sz	(18)	121	4 28	11 41	18 55	11 35	1 54	○ 01 46
2	V		122	4 27	11 41	18 56	12 46	2 27	
3	H		123	4 25	11 41	18 58	13 56	2 56	
4	K		124	4 23	11 41	18 59	15 05	3 21	
5	Sz		125	4 22	11 41	19 01	16 12	3 43	
6	Cs	20	126	4 20	11 41	19 02	17 18	4 05	○ 01 46
7	P		127	4 19	11 41	19 03	18 24	4 28	
8	Sz		128	4 17	11 41	19 05	19 28	4 52	
9	V		129	4 16	11 41	19 06	20 31	5 20	
10	H		130	4 14	11 41	19 08	21 32	5 50	
11	K	21	131	4 13	11 40	19 09	22 28	6 27	☾ 06 12
12	Sz		132	4 12	11 40	19 10	23 18	7 09	
13	Cs		133	4 10	11 40	19 11	—	8 00	
14	P		134	4 09	11 40	19 13	0 02	8 55	
15	Sz		135	4 08	11 40	19 14	0 39	9 57	
16	V	22	136	4 07	11 40	19 15	1 13	11 00	● 05 41
17	H		137	4 05	11 40	19 16	1 41	12 08	
18	K		138	4 04	11 40	19 18	2 06	13 18	
19	Sz		139	4 03	11 41	19 19	2 31	14 31	
20	Cs		140	4 02	11 41	19 20	2 56	15 46	
21	P	23	141	4 01	11 41	19 21	3 22	17 04	☾ 21 07
22	Sz		142	4 00	11 41	19 22	3 51	18 25	
23	V		143	3 59	11 41	19 24	4 26	19 45	
24	H		144	3 58	11 41	19 25	5 09	21 02	
25	K		145	3 57	11 41	19 26	6 00	22 11	
26	Sz	24	146	3 56	11 41	19 27	7 00	23 09	☾ 21 07
27	Cs		147	3 55	11 41	19 28	8 09	23 55	
28	P		148	3 54	11 41	19 29	9 22	—	
29	Sz		149	3 53	11 41	19 30	10 35	0 31	
30	V		150	3 53	11 42	19 31	11 47	1 01	
31	H	25	151	3 52	11 42	19 32	12 56	1 27	

Hold: 11-én 16^h-kor földtávolban
24-én 4^h-kor földközelen

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő ($\gamma = 0^h$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látszó sugara	RA	D
	h m s	h m	° ' "	' "	h m	° ' "
...090,5	14 34 22,797	2 31,5	+14 55	15 54	9 19,5	+18 21
091,5	14 38 19,351	2 35,4	15 13	15 54	10 14,0	14 45
092,5	14 42 15,903	2 39,2	15 31	15 54	11 05,6	10 29
093,5	14 46 12,452	2 43,0	15 48	15 54	11 54,7	5 48
094,5	14 50 09,002	2 46,9	16 06	15 53	12 42,2	+ 0 56
095,5	14 54 05,552	2 50,7	16 23	15 53	13 28,8	— 3 53
096,5	14 58 02,103	2 54,6	16 40	15 53	14 15,2	8 29
097,5	15 01 58,656	2 58,5	16 56	15 52	15 02,1	12 42
098,5	15 05 55,211	3 02,4	17 13	15 52	15 49,8	16 20
099,5	15 09 51,768	3 06,2	17 29	15 52	16 38,7	19 15
100,5	15 13 48,326	3 10,1	17 44	15 52	17 28,7	21 20
101,5	15 17 44,886	3 14,1	18 00	15 52	18 19,5	22 28
102,5	15 21 41,445	3 18,0	18 15	15 51	19 10,8	22 36
103,5	15 25 38,004	3 21,9	18 30	15 51	20 02,0	21 44
104,5	15 29 34,562	3 25,9	18 44	15 51	20 52,8	19 51
105,5	15 33 31,118	3 29,8	18 58	15 51	21 43,1	17 04
106,5	15 37 27,672	3 33,8	19 12	15 50	22 32,7	13 26
107,5	15 41 24,224	3 37,7	19 26	15 50	23 22,2	9 05
108,5	15 45 20,775	3 41,7	19 39	15 50	0 12,0	— 4 10
109,5	15 49 17,325	3 45,7	19 52	15 50	1 02,8	+ 1 07
110,5	15 53 13,877	3 49,7	20 04	15 50	1 55,6	6 31
111,5	15 57 10,431	3 53,7	20 16	15 49	2 51,0	11 43
112,5	16 01 06,989	3 57,7	20 28	15 49	3 49,6	16 19
113,5	16 05 03,551	4 01,8	20 40	15 49	4 51,4	19 54
114,5	16 09 00,114	4 05,8	20 51	15 49	5 55,5	22 06
115,5	16 12 56,679	4 09,8	21 02	15 49	7 00,3	22 43
116,5	16 16 53,242	4 13,9	21 12	15 49	8 03,7	21 45
117,5	16 20 49,803	4 17,9	21 22	15 48	9 04,1	19 23
118,5	16 24 46,360	4 22,0	21 32	15 48	10 00,8	15 56
119,5	16 28 42,915	4 26,1	21 41	15 48	10 53,9	11 43
120,5	16 32 39,467	4 30,2	+21 50	15 48	11 43,8	+ 7 04

I. JÚNIUS

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözET)					A HOLD fény-változásai
				Budapesten					
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	K	(23)	152	3 51	11 42	19 33	14 04	1 50	
2	Sz		153	3 51	11 42	19 34	15 10	2 11	
3	Cs		154	3 50	11 42	19 35	16 15	2 33	
4	P		155	3 49	11 42	19 36	17 20	2 57	
5	Sz		156	3 49	11 43	19 37	18 23	3 22	
6	V		157	3 48	11 43	19 37	19 25	3 52	○ 17 00
7	H	24	158	3 48	11 43	19 38	20 22	4 26	
8	K		159	3 48	11 43	19 39	21 15	5 06	
9	Sz		160	3 47	11 43	19 40	22 01	5 53	
10	Cs		161	3 47	11 43	19 40	22 41	6 47	
11	P		162	3 47	11 44	19 41	23 15	7 47	
12	Sz		163	3 46	11 44	19 41	23 44	8 49	
13	V		164	3 46	11 44	19 42	—	9 55	
14	H	25	165	3 46	11 44	19 42	0 10	11 02	☾ 19 07
15	K		166	3 46	11 44	19 43	0 34	12 11	
16	Sz		167	3 46	11 45	19 43	0 58	13 23	
17	Cs		168	3 46	11 45	19 44	1 21	14 37	
18	P		169	3 46	11 45	19 44	1 48	15 55	
19	Sz		170	3 46	11 45	19 44	2 19	17 15	
20	V		171	3 46	11 46	19 45	2 57	18 34	
21	H	26	172	3 47	11 46	19 45	3 44	19 49	● 12 53
22	K		173	3 47	11 46	19 45	4 41	20 54	
23	Sz		174	3 47	11 46	19 45	5 47	21 47	
24	Cs		175	3 47	11 46	19 45	7 01	22 30	
25	P		176	3 48	11 47	19 45	8 17	23 03	
26	Sz		177	3 48	11 47	19 45	9 33	23 31	
27	V		178	3 48	11 47	19 45	10 45	23 55	
28	H	27	179	3 49	11 47	19 45	11 54	—	☾ 06 57
29	K		180	3 49	11 47	19 45	13 02	0 18	
30	Sz		181	3 50	11 48	19 45	14 07	0 40	

Hold: 8-án 0^h-kor földtávolban
21-én 13^h-kor földközelen

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő ($\lambda = 0^h$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látászó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	' "	h m	° '
...121,5	16 36 36,018	4 34,2	+21 59	15 48	12 31,6	+ 2 12
122,5	16 40 32,570	4 38,3	22 07	15 48	13 18,1	— 2 39
123,5	16 44 29,123	4 42,4	22 15	15 48	14 04,1	7 19
124,5	16 48 25,677	4 46,5	22 22	15 48	14 50,3	11 38
125,5	16 52 22,233	4 50,7	22 29	15 47	15 37,4	15 26
126,5	16 56 18,792	4 54,8	22 36	15 47	16 25,7	18 35
127,5	17 00 15,352	4 58,9	22 42	15 47	17 15,3	20 55
128,5	17 04 11,913	5 03,0	22 48	15 47	18 05,9	22 20
129,5	17 08 08,474	5 07,2	22 53	15 47	18 57,2	22 46
130,5	17 12 05,035	5 11,3	22 58	15 47	19 48,5	22 11
131,5	17 16 01,595	5 15,4	23 03	15 47	20 39,4	20 35
132,5	17 19 58,152	5 19,6	23 07	15 47	21 29,4	18 04
133,5	17 23 54,708	5 23,7	23 11	15 46	22 18,5	14 42
134,5	17 27 51,263	5 27,9	23 14	15 46	23 07,0	10 38
135,5	17 31 47,815	5 32,0	23 17	15 46	23 55,3	6 00
136,5	17 35 44,367	5 36,2	23 20	15 46	0 44,2	— 0 57
137,5	17 39 40,919	5 40,3	23 22	15 46	1 34,7	+ 4 18
138,5	17 43 37,473	5 44,5	23 24	15 46	2 27,5	9 31
139,5	17 47 34,031	5 48,7	23 25	15 46	3 23,6	14 21
140,5	17 51 30,592	5 52,8	23 26	15 46	4 23,4	18 25
141,5	17 55 27,156	5 57,0	23 26	15 46	5 26,8	21 19
142,5	17 59 23,721	6 01,1	23 26	15 46	6 32,3	22 41
143,5	18 03 20,287	6 05,3	23 26	15 46	7 38,0	22 23
144,5	18 07 16,850	6 09,5	23 25	15 46	8 41,7	20 30
145,5	18 11 13,410	6 13,6	23 24	15 46	9 41,7	17 19
146,5	18 15 09,966	6 17,8	23 23	15 46	10 37,7	13 12
147,5	18 19 06,519	6 21,9	23 21	15 46	11 30,0	8 31
148,5	18 23 03,071	6 26,1	23 18	15 45	12 19,3	+ 3 35
149,5	18 26 59,623	6 30,2	23 16	15 45	13 06,6	— 1 22
150,5	18 30 56,176	6 34,4	+23 12	15 45	13 53,0	— 6 08

Föld: 21-én 18^h 23^m-kor nyár kezdete (KözEI)

I. JÚLIUS

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)						A HOLD fény-változásai
				Budapest						
				A NAP			A HOLD			
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik		
				h m	h m	h m	h m	h m	h m	
1	Cs	(27)	182	3 50	11 48	19 45	15 12	1 02	○ 08 32	
2	P		183	3 51	11 48	19 45	16 15	1 27		
3	Sz		184	3 51	11 48	19 44	17 17	1 55		
4	V		185	3 52	11 48	19 44	18 17	2 28		
5	H		186	3 53	11 49	19 44	19 11	3 06		
6	K	28	187	3 54	11 49	19 43	19 59	3 50	○ 08 32	
7	Sz		188	3 55	11 49	19 43	20 42	4 42		
8	Cs		189	3 55	11 49	19 42	21 17	5 39		
9	P		190	3 56	11 49	19 42	21 48	6 41		
10	Sz		191	3 57	11 49	19 41	22 14	7 46		
11	V	29	192	3 58	11 50	19 41	22 38	8 53	☾ 04 48	
12	H		193	3 59	11 50	19 40	23 02	10 00		
13	K		194	4 00	11 50	19 39	23 25	11 10		
14	Sz		195	4 01	11 50	19 39	23 50	12 21		
15	Cs		196	4 02	11 50	19 38	—	13 34		
16	P	30	197	4 03	11 50	19 37	0 17	14 50	● 19 57	
17	Sz		198	4 04	11 50	19 36	0 50	16 08		
18	V		199	4 05	11 50	19 35	1 30	17 24		
19	H		200	4 06	11 50	19 34	2 21	18 33		
20	K		201	4 07	11 50	19 33	3 23	19 32		
21	Sz	31	202	4 08	11 50	19 32	4 34	20 21	☾ 19 23	
22	Cs		203	4 09	11 51	19 31	5 51	20 59		
23	P		204	4 10	11 51	19 30	7 09	21 30		
24	Sz		205	4 11	11 51	19 29	8 26	21 57		
25	V		206	4 13	11 51	19 28	9 38	22 21		
26	H		207	4 14	11 51	19 27	10 48	22 44		
27	K		208	4 15	11 51	19 26	11 56	23 07		
28	Sz		209	4 16	11 51	19 24	13 02	23 30		
29	Cs		210	4 17	11 51	19 23	14 06	23 57		
30	P		211	4 19	11 51	19 22	15 09	—		
31	Sz		212	4 20	11 51	19 20	16 09	0 29		

Hold: 5-én 3^h-kor földtávolban
19-én 22^h-kor földközélen

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő (λ = 0 ^h -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látzó sugara	RA	D
	h m s	h m	° ' "	° "	h m	° ' "
...151,5	18 34 52,730	6 38,5	+23 09	15 45	14 39,2	—10 34
152,5	18 38 49,286	6 42,7	23 05	15 45	15 25,9	14 31
153,5	18 42 45,845	6 46,8	23 00	15 45	16 13,7	17 50
154,5	18 46 42,404	6 50,9	22 56	15 45	17 02,8	20 23
155,5	18 50 38,965	6 55,0	22 50	15 45	17 53,1	22 04
156,5	18 54 35,526	6 59,1	22 45	15 45	18 44,3	22 45
157,5	18 58 32,087	7 03,3	22 39	15 45	19 35,8	22 26
158,5	19 02 28,647	7 07,4	22 32	15 45	20 27,0	21 05
159,5	19 06 25,205	7 11,5	22 26	15 45	21 17,3	18 47
160,5	19 10 21,761	7 15,5	22 18	15 45	22 06,7	15 37
161,5	19 14 18,315	7 19,6	22 11	15 45	22 55,0	11 44
162,5	19 18 14,868	7 23,7	22 03	15 46	23 42,7	7 17
163,5	19 22 11,419	7 27,8	21 55	15 46	0 30,5	— 2 25
164,5	19 26 07,971	7 31,8	21 46	15 46	1 19,1	+ 2 40
165,5	19 30 04,523	7 35,9	21 37	15 46	2 09,5	7 46
166,5	19 34 01,078	7 39,9	21 27	15 46	3 02,6	12 38
167,5	19 37 57,637	7 44,0	21 18	15 46	3 59,2	16 55
168,5	19 41 54,198	7 48,0	21 07	15 46	4 59,6	20 15
169,5	19 45 50,763	7 52,0	20 57	15 46	6 03,3	22 17
170,5	19 49 47,327	7 56,0	20 46	15 46	7 08,8	22 44
171,5	19 53 43,890	8 00,0	20 35	15 46	8 13,8	21 31
172,5	19 57 40,451	8 04,0	20 23	15 46	9 16,5	18 49
173,5	20 01 37,007	8 08,0	20 11	15 46	10 15,5	14 57
174,5	20 05 33,560	8 12,0	19 59	15 46	11 10,6	10 19
175,5	20 09 30,112	8 16,0	19 46	15 46	12 02,4	5 17
176,5	20 13 26,662	8 19,9	19 34	15 46	12 51,6	+ 0 11
177,5	20 17 23,213	8 23,9	19 20	15 46	13 39,2	— 4 47
178,5	20 21 19,765	8 27,8	19 07	15 47	14 26,1	9 24
179,5	20 25 16,320	8 31,7	18 53	15 47	15 13,2	13 32
180,5	20 29 12,876	8 35,6	18 39	15 47	16 00,9	17 03
181,5	20 33 09,433	8 39,5	+18 24	15 47	16 49,7	—19 49

I. AUGUSZTUS

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					
				Budapesten					A HOLD fény-változásai
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	V	(31) 32	213	4 21	11 50	19 19	17 05	1 05	○ 23 35
2	H		214	4 22	11 50	19 18	17 57	1 47	
3	K		215	4 24	11 50	19 16	18 41	2 37	
4	Sz		216	4 25	11 50	19 15	19 18	3 33	
5	Cs		217	4 26	11 50	19 13	19 50	4 34	
6	P	33	218	4 27	11 50	19 12	20 19	5 38	
7	Sz		219	4 29	11 50	19 10	20 44	6 44	
8	V		220	4 30	11 50	19 09	21 07	7 52	
9	H		221	4 31	11 50	19 07	21 29	9 01	
10	K		222	4 33	11 49	19 05	21 53	10 10	
11	Sz		223	4 34	11 49	19 04	22 19	11 22	☾ 12 09
12	Cs		224	4 35	11 49	19 02	22 49	12 36	
13	P		225	4 37	11 49	19 00	23 24	13 51	
14	Sz		226	4 38	11 49	18 59	—	15 05	
15	V		227	4 39	11 49	18 57	0 09	16 15	
16	H	34	228	4 41	11 48	18 55	1 05	17 18	● 03 46
17	K		229	4 42	11 48	18 54	2 10	18 10	
18	Sz		230	4 43	11 48	18 52	3 24	18 53	
19	Cs		231	4 45	11 48	18 50	4 42	19 26	
20	P		232	4 46	11 48	18 48	6 00	19 56	
21	Sz	35	233	4 47	11 47	18 46	7 15	20 21	
22	V		234	4 49	11 47	18 45	8 30	20 45	
23	H		235	4 50	11 47	18 43	9 40	21 08	
24	K		236	4 51	11 47	18 41	10 47	21 31	
25	Sz		237	4 53	11 46	18 39	11 54	21 58	
26	Cs		238	4 54	11 46	18 37	12 58	22 28	☾ 10 50
27	P		239	4 55	11 46	18 35	14 00	23 01	
28	Sz		240	4 57	11 45	18 33	14 58	23 42	
29	V		241	4 58	11 45	18 31	15 51	—	
30	H		242	4 59	11 45	18 30	16 38	0 29	
31	K		243	5 01	11 45	18 28	17 18	1 23	

Hold: 1-én 11^h-kor földtávolban
 17-én 03^h-kor földközelen
 29-én 01^h-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^a világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő (λ = 0 ^h -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látózó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	° "	h m	° '
...182,5	20 37 05,992	8 43,4	+18 09	15 47	17 39,7	—21 44
183,5	20 41 02,552	8 47,3	17 54	15 47	18 30,7	22 41
184,5	20 44 59,111	8 51,2	17 39	15 47	19 22,2	22 37
185,5	20 48 55,670	8 55,0	17 23	15 47	20 13,7	21 31
186,5	20 52 52,226	8 58,9	17 07	15 48	21 04,7	19 25
187,5	20 56 48,781	9 02,7	16 51	15 48	21 54,6	16 26
188,5	21 00 45,334	9 06,6	16 35	15 48	22 43,5	12 40
189,5	21 04 41,884	9 10,4	16 18	15 48	23 31,6	8 17
190,5	21 08 38,434	9 14,2	16 01	15 48	0 19,3	— 3 29
191,5	21 12 34,983	9 18,0	15 44	15 48	1 07,3	+ 1 33
192,5	21 16 31,534	9 21,8	15 26	15 48	1 56,5	6 36
193,5	21 20 28,086	9 25,6	15 08	15 49	2 47,8	11 27
194,5	21 24 24,641	9 29,3	14 50	15 49	3 41,8	15 49
195,5	21 28 21,199	9 33,1	14 32	15 49	4 39,2	19 22
196,5	21 32 17,760	9 36,9	14 14	15 49	5 40,0	21 48
197,5	21 36 14,322	9 40,6	13 55	15 49	6 43,1	22 49
198,5	21 40 10,883	9 44,4	13 36	15 49	7 47,1	22 15
199,5	21 44 07,442	9 48,1	13 17	15 50	8 50,1	20 08
200,5	21 48 03,998	9 51,8	12 57	15 50	9 50,5	16 42
201,5	21 52 00,551	9 55,5	12 38	15 50	10 47,5	12 18
202,5	21 55 57,100	9 59,2	12 18	15 50	11 41,4	7 18
203,5	21 59 53,649	10 02,9	11 58	15 50	12 32,5	+ 2 04
204,5	22 03 50,197	10 06,6	11 38	15 50	13 21,7	— 3 07
205,5	22 07 46,747	10 10,3	11 18	15 51	14 09,8	8 00
206,5	22 11 43,298	10 14,0	10 57	15 51	14 57,7	12 24
207,5	22 15 39,851	10 17,7	10 36	15 51	15 45,8	16 11
208,5	22 19 36,407	10 21,3	10 16	15 51	16 34,8	19 13
209,5	22 23 32,963	10 25,0	9 54	15 52	17 24,7	21 24
210,5	22 27 29,521	10 28,6	9 33	15 52	18 15,5	22 38
211,5	22 31 26,078	10 32,3	9 12	15 52	19 07,0	22 51
212,5	22 35 22,635	10 35,9	+ 8 51	15 52	19 58,6	—22 01

I. SZEPTEMBER

Közép-európai zónaidőben (KözEI)									
Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Budapestben					A HOLD fény-változásai
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	Sz	(36)	244	5 02	11 44	18 26	17 52	2 23	○ 13 29
2	Cs		245	5 03	11 44	18 24	18 22	3 27	
3	P		246	5 05	11 44	18 22	18 47	4 33	
4	Sz		247	5 06	11 43	18 20	19 12	5 42	
5	V		248	5 07	11 43	18 18	19 34	6 52	
6	H	37	249	5 09	11 43	18 16	19 57	8 02	☾ 18 20
7	K		250	5 10	11 42	18 14	20 22	9 14	
8	Sz		251	5 11	11 42	18 12	20 50	10 27	
9	Cs		252	5 13	11 42	18 10	21 24	11 42	
10	P		253	5 14	11 41	18 08	22 05	12 55	
11	Sz	38	254	5 15	11 41	18 06	22 55	14 05	
12	V		255	5 17	11 41	18 03	23 55	15 09	
13	H		256	5 18	11 40	18 01	—	16 03	
14	K		257	5 19	11 40	17 59	1 04	16 48	
15	Sz		258	5 21	11 39	17 57	2 19	17 24	
16	Cs	39	259	5 22	11 39	17 55	3 36	17 55	● 13 10
17	P		260	5 23	11 39	17 53	4 52	18 21	
18	Sz		261	5 25	11 38	17 51	6 06	18 45	
19	V		262	5 26	11 38	17 49	7 19	19 08	
20	H		263	5 27	11 38	17 47	8 30	19 32	
21	K	40	264	5 29	11 37	17 45	9 38	19 57	☾ 05 08
22	Sz		265	5 30	11 37	17 43	10 45	20 25	
23	Cs		266	5 31	11 37	17 41	11 49	20 58	
24	P		267	5 33	11 36	17 39	12 50	21 36	
25	Sz		268	5 34	11 36	17 37	13 44	22 20	
26	V	40	269	5 35	11 36	17 35	14 33	23 12	
27	H		270	5 37	11 35	17 33	15 15	—	
28	K		271	5 38	11 35	17 31	15 52	0 09	
29	Sz		272	5 39	11 35	17 29	16 23	1 11	
30	Cs		273	5 41	11 34	17 27	16 50	2 18	

Hold: 13-án 19^h-kor földközélen
25-én 20^h-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^b világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő ($\lambda = 0^{\text{h}}$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látászó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	° '	h m	° '
...213,5	22 39 19,190	10 39,5	+ 8 29	15 52	20 49,8	-20 11
214,5	22 43 15,743	10 43,2	8 07	15 53	21 40,3	17 23
215,5	22 47 12,294	10 46,8	7 45	15 53	22 29,9	13 45
216,5	22 51 08,844	10 50,4	7 23	15 53	23 18,7	9 27
217,5	22 55 05,391	10 54,0	7 01	15 53	0 07,1	- 4 38
218,5	22 59 01,939	10 57,6	6 39	15 54	0 55,6	+ 0 27
219,5	23 02 58,487	11 01,2	6 17	15 54	1 44,9	5 37
220,5	23 06 55,037	11 04,8	5 54	15 54	2 35,8	10 35
221,5	23 10 51,589	11 08,4	5 32	15 54	3 29,0	15 04
222,5	23 14 48,145	11 12,0	5 09	15 54	4 25,0	18 49
223,5	23 18 44,703	11 15,6	4 46	15 55	5 23,8	21 29
224,5	23 22 41,262	11 19,2	4 23	15 55	6 24,8	22 51
225,5	23 26 37,822	11 22,8	4 01	15 55	7 27,0	22 45
226,5	23 30 34,380	11 26,4	3 38	15 55	8 28,7	21 08
227,5	23 34 30,935	11 30,0	3 15	15 56	9 28,5	18 11
228,5	23 38 27,487	11 33,6	2 51	15 56	10 25,7	14 08
229,5	23 42 24,036	11 37,2	2 28	15 56	11 20,1	9 19
230,5	23 46 20,584	11 40,7	2 05	15 56	12 12,0	+ 4 06
231,5	23 50 17,131	11 44,3	1 42	15 57	13 02,1	- 1 12
232,5	23 54 13,678	11 47,9	1 19	15 57	13 51,1	6 19
233,5	23 58 10,228	11 51,5	0 55	15 57	14 39,7	11 02
234,5	0 02 06,779	11 55,1	0 32	15 58	15 28,5	15 08
235,5	0 06 03,333	11 58,7	+ 0 09	15 58	16 17,8	18 31
236,5	0 09 59,889	12 02,3	- 0 15	15 58	17 08,0	21 01
237,5	0 13 56,445	12 05,9	0 38	15 58	17 58,9	22 35
238,5	0 17 53,002	12 09,5	1 02	15 59	18 50,2	23 07
239,5	0 21 49,558	12 13,1	1 25	15 59	19 41,8	22 37
240,5	0 25 46,113	12 16,7	1 48	15 59	20 33,0	21 05
241,5	0 29 42,666	12 20,3	2 12	15 59	21 23,5	18 34
242,5	0 33 39,218	12 23,9	- 2 35	16 00	22 13,4	-15 10

Föld: 23-án 09^h 46^m-kor Ősz kezdete (KözEI)

I. OKTÓBER

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					A HOLD fény-változásai
				Budapesten					
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	P	(40)	274	5 42	11 34	17 25	17 14	3 26	○ 02 09
2	Sz		275	5 44	11 34	17 23	17 38	4 36	
3	V		276	5 45	11 33	17 21	18 01	5 47	
4	H		277	5 46	11 33	17 19	18 26	7 01	
5	K		278	5 48	11 33	17 17	18 53	8 15	
6	Sz	41	279	5 49	11 32	17 15	19 24	9 31	
7	Cs		280	5 51	11 32	17 13	20 02	10 47	
8	P		281	5 52	11 32	17 11	20 50	12 00	
9	Sz		282	5 53	11 31	17 09	21 47	13 05	
10	V		283	5 55	11 31	17 07	22 52	14 01	
11	H	42	284	5 56	11 31	17 05	—	14 48	☾ 00 27
12	K		285	5 58	11 31	17 03	0 04	15 25	
13	Sz		286	5 59	11 30	17 01	1 19	15 57	
14	Cs		287	6 01	11 30	16 59	2 34	16 23	
15	P		288	6 02	11 30	16 57	3 47	16 48	
16	Sz	43	289	6 03	11 30	16 55	5 00	17 10	● 01 05
17	V		290	6 05	11 30	16 54	6 11	17 33	
18	H		291	6 06	11 29	16 52	7 21	17 57	
19	K		292	6 08	11 29	16 50	8 29	18 23	
20	Sz		293	6 09	11 29	16 48	9 35	18 55	
21	Cs	44	294	6 11	11 29	16 46	10 38	19 30	☾ 01 09
22	P		295	6 12	11 29	16 44	11 36	20 12	
23	Sz		296	6 14	11 29	16 43	12 28	21 00	
24	V		297	6 15	11 28	16 41	13 14	21 55	
25	H		298	6 17	11 28	16 39	13 51	22 55	
26	K		299	6 18	11 28	16 37	14 23	23 59	
27	Sz		300	6 20	11 28	16 36	14 51	—	
28	Cs		301	6 21	11 28	16 34	15 16	1 06	
29	P		302	6 23	11 28	16 33	15 40	2 15	
30	Sz		303	6 24	11 28	16 31	16 02	3 25	
31	V		304	6 26	11 28	16 29	16 27	4 39	

Hold: 9-én 02^h-kor földközélen
23-án 16^h-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^a világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő (λ = 0 ^h -kor)	NAP			HOLD	
		RA	D	látászó sugara	RA	D
	h m s	h m	° ′	′ ″	h m	° ′
...243,5	0 37 35,767	12 27,5	— 2 58	16 00	23 02,5	—11 00
244,5	0 41 32,315	12 31,1	3 22	16 00	23 51,4	6 15
245,5	0 45 28,862	12 34,7	3 45	16 01	0 40,4	— 1 05
246,5	0 49 25,409	12 38,4	4 08	16 01	1 30,3	+ 4 13
247,5	0 53 21,958	12 42,0	4 31	16 01	2 21,7	9 25
248,5	0 57 18,510	12 45,6	4 54	16 01	3 15,3	14 12
249,5	1 01 15,065	12 49,3	5 17	16 02	4 11,5	18 15
250,5	1 05 11,623	12 52,9	5 40	16 02	5 10,3	21 15
251,5	1 09 08,183	12 56,6	6 03	16 02	6 11,1	22 56
252,5	1 13 04,743	13 00,3	6 26	16 03	7 12,6	23 09
253,5	1 17 01,301	13 04,0	6 49	16 03	8 13,6	21 54
254,5	1 20 57,858	13 07,6	7 11	16 03	9 12,7	19 18
255,5	1 24 54,411	13 11,3	7 34	16 03	10 09,2	15 34
256,5	1 28 50,961	13 15,0	7 56	16 04	11 03,0	11 01
257,5	1 32 47,510	13 18,7	8 19	16 04	11 54,5	5 58
258,5	1 36 44,057	13 22,5	8 41	16 04	12 44,4	+ 0 41
259,5	1 40 40,605	13 26,2	9 03	16 04	13 33,2	— 4 33
260,5	1 44 37,155	13 29,9	9 25	16 05	14 21,8	9 28
261,5	1 48 33,707	13 33,7	9 47	16 05	15 10,6	13 53
262,5	1 52 30,261	13 37,4	10 08	16 05	16 00,1	17 36
263,5	1 56 26,817	13 41,2	10 30	16 06	16 50,4	20 29
264,5	2 00 23,374	13 45,0	10 51	16 06	17 41,5	22 25
265,5	2 04 19,932	13 48,8	11 13	16 06	18 33,0	23 19
266,5	2 08 16,490	13 52,6	11 34	16 06	19 24,5	23 10
267,5	2 12 13,047	13 56,4	11 55	16 07	20 15,6	21 58
268,5	2 16 09,603	14 00,2	12 15	16 07	21 06,0	19 47
269,5	2 20 06,156	14 04,1	12 36	16 07	21 55,5	16 42
270,5	2 24 02,708	14 07,9	12 56	16 07	22 44,3	12 49
271,5	2 27 59,258	14 11,8	13 16	16 08	23 32,8	8 16
272,5	2 31 55,807	14 15,7	13 36	16 08	0 21,4	— 3 12
273,5	2 35 52,356	14 19,5	—13 56	16 08	1 11,1	+ 2 09

I. NOVEMBER

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					A HOLD fény-változásai
				Budapesten					
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	H	45	305	6 27	11 28	16 28	16 52	5 54	○ 13 57
2	K		306	6 29	11 28	16 26	17 23	7 12	
3	Sz		307	6 30	11 28	16 25	17 59	8 30	
4	Cs		308	6 32	11 28	16 23	18 44	9 47	
5	P		309	6 33	11 28	16 22	19 39	10 58	
6	Sz	46	310	6 35	11 28	16 20	20 43	11 59	☾ 07 39
7	V		311	6 36	11 28	16 19	21 54	12 49	
8	H		312	6 38	11 28	16 17	23 08	13 29	
9	K		313	6 39	11 28	16 16	—	14 02	
10	Sz		314	6 41	11 28	16 15	0 22	14 29	
11	Cs	47	315	6 42	11 28	16 13	1 36	14 52	● 16 11
12	P		316	6 44	11 28	16 12	2 47	15 15	
13	Sz		317	6 45	11 28	16 11	3 57	15 36	
14	V		318	6 47	11 29	16 10	5 06	16 00	
15	H		319	6 48	11 29	16 09	6 14	16 24	
16	K	48	320	6 50	11 29	16 08	7 22	16 53	☾ 21 06
17	Sz		321	6 51	11 29	16 07	8 26	17 27	
18	Cs		322	6 53	11 29	16 05	9 27	18 06	
19	P		323	6 54	11 29	16 04	10 21	18 51	
20	Sz		324	6 56	11 30	16 03	11 10	19 44	
21	V	49	325	6 57	11 30	16 03	11 50	20 42	
22	H		326	6 59	11 30	16 02	12 24	21 44	
23	K		327	7 00	11 30	16 01	12 53	22 49	
24	Sz		328	7 01	11 31	16 00	13 19	23 55	
25	Cs		329	7 03	11 31	15 59	13 41	—	
26	P	49	330	7 04	11 31	15 58	14 04	1 03	
27	Sz		331	7 05	11 32	15 58	14 27	2 14	
28	V		332	7 07	11 32	15 57	14 51	3 26	
29	H		333	7 08	11 32	15 56	15 19	4 43	
30	K		334	7 09	11 33	15 56	15 52	6 02	

Hold: 4-én 11^h-kor földközeli
20-án 12^h-kor földtávolban

HÓNAP

0 ^b világidőkor						
Julián dátum 2445...	Csillagidő (λ = 0 ^b -kor)	NAP			HOLD	
		RA	D	látászó sugara	RA	D
	h m s	h m	" "	" "	h m	" "
...274,5	2 39 48,906	14 23,4	—14 15	16 08	2 02,4	+ 7 33
275,5	2 43 45,459	14 27,4	14 34	16 09	2 56,2	12 41
276,5	2 47 42,015	14 31,3	14 53	16 09	3 53,0	17 11
277,5	2 51 38,575	14 35,2	15 12	16 09	4 52,7	20 40
278,5	2 55 35,137	14 39,2	15 31	16 09	5 54,8	22 50
279,5	2 59 31,699	14 43,1	15 49	16 10	6 57,8	23 28
280,5	3 03 28,261	14 47,1	16 07	16 10	8 00,0	22 33
281,5	3 07 24,820	14 51,1	16 25	16 10	9 00,0	20 12
282,5	3 11 21,377	14 55,1	16 42	16 10	9 56,9	16 42
283,5	3 15 17,930	14 59,2	16 59	16 11	10 50,7	12 21
284,5	3 19 14,481	15 03,2	17 16	16 11	11 41,8	7 26
285,5	3 23 11,031	15 07,3	17 33	16 11	12 31,0	+ 2 15
286,5	3 27 07,581	15 11,3	17 49	16 11	13 19,0	— 2 58
287,5	3 31 04,133	15 15,4	18 05	16 11	14 06,8	7 58
288,5	3 35 00,686	15 19,5	18 21	16 12	14 54,9	12 34
289,5	3 38 57,242	15 23,6	18 36	16 12	15 43,8	16 33
290,5	3 42 53,800	15 27,7	18 51	16 12	16 33,8	19 45
291,5	3 46 50,360	15 31,9	19 06	16 12	17 24,8	22 02
292,5	3 50 46,920	15 36,0	19 20	16 13	18 16,5	23 18
293,5	3 54 43,481	15 40,2	19 34	16 13	19 08,2	23 31
294,5	3 58 40,041	15 44,4	19 48	16 13	19 59,5	22 40
295,5	4 02 36,599	15 48,6	20 01	16 13	20 49,8	20 49
296,5	4 06 33,156	15 52,8	20 14	16 13	21 39,0	18 03
297,5	4 10 29,711	15 57,0	20 26	16 14	22 27,1	14 29
298,5	4 14 26,264	16 01,2	20 38	16 14	23 14,6	10 14
299,5	4 18 22,816	16 05,5	20 50	16 14	0 02,1	5 26
300,5	4 22 19,367	16 09,7	21 02	16 14	0 50,2	— 0 15
301,5	4 26 15,919	16 14,0	21 12	16 14	1 40,0	+ 5 08
302,5	4 30 12,473	16 18,3	21 23	16 14	2 32,4	10 26
303,5	4 34 09,031	16 22,6	—21 33	16 15	3 28,1	+15 20

I. DECEMBER

Dátum	A hét napjai	Év hányadik hete	Év hányadik napja	Közép-európai zónaidőben (KözEI)					A HOLD fény-változásai
				Budapesten					
				A NAP			A HOLD		
				kel	delel	nyugszik	kel	nyugszik	
				h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	Sz	(49)	335	7 11	11 33	15 55	16 34	7 22	○ 01 22
2	Cs		336	7 12	11 33	15 55	17 25	8 39	
3	P		337	7 13	11 34	15 55	18 27	9 47	
4	Sz		338	7 14	11 34	15 54	19 39	10 45	
5	V		339	7 15	11 35	15 54	20 55	11 30	
6	H	50	340	7 16	11 35	15 54	22 12	12 05	(16 54
7	K		341	7 18	11 35	15 53	23 26	12 34	
8	Sz		342	7 19	11 36	15 53	—	12 59	
9	Cs		343	7 20	11 36	15 53	0 38	13 21	
10	P		344	7 21	11 37	15 53	1 48	13 43	
11	Sz	51	345	7 22	11 37	15 53	2 56	14 05	● 10 19
12	V		346	7 22	11 38	15 53	4 04	14 28	
13	H		347	7 23	11 38	15 53	5 11	14 55	
14	K		348	7 24	11 39	15 53	6 16	15 27	
15	Sz		349	7 25	11 39	15 53	7 18	16 03	
16	Cs	52	350	7 25	11 40	15 53	8 16	16 47	) 15 17
17	P		351	7 26	11 40	15 54	9 06	17 36	
18	Sz		352	7 27	11 41	15 54	9 49	18 33	
19	V		353	7 28	11 41	15 54	10 25	19 34	
20	H		354	7 28	11 42	15 55	10 56	20 36	
21	K	53	355	7 29	11 42	15 55	11 22	21 42	
22	Sz		356	7 29	11 43	15 56	11 46	22 47	
23	Cs		357	7 30	11 43	15 56	12 07	23 54	
24	P		358	7 30	11 44	15 57	12 28	—	
25	Sz		359	7 31	11 44	15 58	12 50	1 05	
26	V	53	360	7 31	11 45	15 58	13 16	2 17	
27	H		361	7 31	11 45	15 59	13 45	3 32	
28	K		362	7 32	11 46	16 00	14 21	4 51	
29	Sz		363	7 32	11 46	16 00	15 07	6 09	
30	Cs		364	7 32	11 47	16 01	16 04	7 23	
31	P		365	7 32	11 47	16 02	17 14	8 28	

Hold: 2-án 12^h-kor földközélnél
18-án 02^h-kor földtávolban
30-án 23^h-kor földközélnél

HÓNAP

0 ^h világidőkor						
Julian dátum 2445...	Csillagidő ($\lambda = 0^h$ -nál)	NAP			HOLD	
		RA	D	látszó sugara	RA	D
	h m s	h m	° '	' "	h m	° '
...304,5	4 38 05,592	16 26,9	—21 43	16 15	4 27,5	+ 19 24
305,5	4 42 02,156	16 31,2	21 52	16 15	5 30,4	22 15
306,5	4 45 58,721	16 35,5	22 01	16 15	6 35,4	23 32
307,5	4 49 55,287	16 39,8	22 10	16 15	7 40,4	23 09
308,5	4 53 51,850	16 44,2	22 18	16 16	8 43,4	21 09
309,5	4 57 48,409	16 48,5	22 26	16 16	9 42,8	17 51
310,5	5 01 44,966	16 52,9	22 33	16 16	10 38,5	13 35
311,5	5 05 41,520	16 57,3	22 39	16 16	11 30,6	8 43
312,5	5 09 38,072	17 01,7	22 46	16 16	12 20,2	+ 3 33
313,5	5 13 34,624	17 06,0	22 52	16 16	13 08,1	— 1 39
314,5	5 17 31,177	17 10,4	22 57	16 16	13 55,2	6 42
315,5	5 21 27,732	17 14,8	23 02	16 16	14 42,5	11 22
316,5	5 25 24,289	17 19,3	23 07	16 16	15 30,6	15 30
317,5	5 29 20,849	17 23,7	23 11	16 16	16 19,8	18 56
318,5	5 33 17,410	17 28,1	23 14	16 17	17 10,2	21 30
319,5	5 37 13,972	17 32,5	23 17	16 17	18 01,6	23 05
320,5	5 41 10,534	17 37,0	23 20	16 17	18 53,4	23 37
321,5	5 45 07,096	17 41,4	23 22	16 17	19 44,9	23 05
322,5	5 49 03,656	17 45,8	23 24	16 17	20 35,6	21 31
323,5	5 53 00,215	17 50,3	23 25	16 17	21 24,9	19 02
324,5	5 56 56,772	17 54,7	23 26	16 17	22 12,9	15 43
325,5	6 00 53,327	17 59,1	23 26	16 17	22 59,8	11 44
326,5	6 04 49,880	18 03,6	23 26	16 17	23 46,1	7 12
327,5	6 08 46,432	18 08,0	23 26	16 17	0 32,6	— 2 15
328,5	6 12 42,985	18 12,5	23 25	16 17	1 20,1	+ 2 56
329,5	6 16 39,539	18 16,9	23 23	16 17	2 09,8	8 09
330,5	6 20 36,096	18 21,3	23 21	16 17	3 02,5	13 09
331,5	6 24 32,656	18 25,8	23 19	16 17	3 59,2	17 36
332,5	6 28 29,219	18 30,2	23 16	16 17	5 00,3	21 04
333,5	6 32 25,785	18 34,6	23 12	16 18	6 04,9	23 09
334,5	6 36 22,352	18 39,1	—23 08	16 18	7 11,5	+ 23 33

Föld: 22-én 05^h39^m-kor tél kezdete (KözEI)

II. A Nap forgási tengelyének helyzete és a napkorong középpontjának héliografikus koordinátái 0^h világidőkor

Dátum	P	B ₀	Lo	Dátum	P	B ₀	Lo
	°	'	"		°	'	"
I. 5	+0,2	—3,5	324,2	VII. 4	—1,5	+3,2	108,4
10	—2,2	4,0	258,4	9	+0,8	3,7	42,2
15	4,6	4,6	192,5	14	3,0	4,2	336,1
20	6,9	5,0	126,7	19	5,2	4,7	269,9
25	9,1	5,5	60,9	24	7,4	5,1	203,8
30	11,3	5,9	355,0	29	9,5	5,6	137,6
II. 4	13,3	6,2	289,2	VIII. 3	11,5	5,9	71,5
9	15,2	6,5	223,4	8	13,4	6,3	5,4
14	17,0	6,8	157,5	13	15,2	6,5	299,3
19	18,6	7,0	91,7	18	16,9	6,8	233,2
24	20,1	7,1	25,8	23	18,5	7,0	167,1
III. 1	21,5	7,2	320,0	28	19,9	7,1	101,0
6	22,7	7,3	254,1	IX. 2	21,3	7,2	35,0
11	23,7	7,2	188,2	7	22,4	7,3	328,9
16	24,6	7,2	122,3	12	23,5	7,2	262,9
21	25,3	7,0	56,4	17	24,4	7,2	196,9
26	25,8	6,8	350,5	22	25,1	7,1	130,9
31	26,1	6,6	284,5	27	25,7	6,9	64,9
IV. 5	26,3	6,3	218,6	X. 2	26,1	6,7	358,9
10	26,3	6,0	152,6	7	26,3	6,4	293,0
15	26,1	5,6	86,6	12	26,3	6,1	227,0
20	25,7	5,2	20,5	17	26,2	5,7	161,0
25	25,2	4,8	314,5	22	25,8	5,3	95,1
30	24,4	4,3	248,4	27	25,3	4,9	29,2
V. 5	23,5	3,8	182,3	XI. 1	24,6	4,4	323,2
10	22,4	3,2	116,2	6	23,7	3,9	257,3
15	21,1	2,7	50,1	11	22,6	3,3	191,4
20	19,7	2,1	344,0	16	21,3	2,7	125,5
25	18,1	1,5	277,8	21	19,8	2,1	59,5
30	16,3	0,9	211,7	26	18,1	1,5	353,6
VI. 4	14,4	—0,3	145,5	XII. 1	16,2	0,9	287,7
9	12,5	+0,3	79,3	6	14,3	+0,3	221,9
14	10,4	0,9	13,2	11	12,1	—0,4	156,0
19	8,2	1,5	307,0	16	9,9	1,0	90,1
24	6,0	2,1	240,8	21	7,6	1,7	24,2
29	3,8	2,6	174,6	26	5,2	2,3	318,4
				31	2,8	2,9	252,5

P: A Nap forgási tengelyének helyzetét a napkorong „geocentrikus” Észak—Dél irányától számítjuk, pozitívnak véve a keleti irányú elhajlást.

III. A holdkorong sugara 0^h világidőkor

Dátum	" "	Dátum	" "	Dátum	" "
I. 1	15 25	V. 1	15 53	IX. 1	14 56
4	16 00	4	15 24	4	15 18
7	16 31	7	15 01	7	15 42
10	16 31	10	14 46	10	16 02
13	15 54	13	14 46	13	16 15
16	15 11	16	15 06	16	16 09
19	14 47	19	15 47	19	15 40
22	14 46	22	16 28	22	15 07
25	15 02	25	16 37	25	14 48
28	15 25	28	16 08	28	14 54
31	15 49	31	15 29		
II. 3	16 13	VI. 3	15 00	X. 1	15 19
6	16 22	6	14 45	4	15 48
9	16 02	9	14 43	7	16 06
12	15 24	12	14 57	10	16 08
15	14 54	15	15 29	13	15 59
18	14 47	18	16 14	16	15 39
21	15 02	21	16 43	19	15 11
24	15 29	24	16 27	22	14 50
27	15 53	27	15 44	25	14 49
		30	15 06	28	15 13
III. 2	16 06			31	15 50
5	16 09	VII. 3	14 46	XI. 3	16 18
8	15 57	6	14 43	6	16 17
11	15 30	9	14 54	9	15 58
14	15 01	12	15 18	12	15 33
17	14 47	15	15 55	15	15 10
20	14 58	18	16 31	18	14 51
23	15 28	21	16 36	21	14 45
26	16 01	24	16 02	24	15 01
29	16 15	27	15 18	27	15 39
		30	14 50	30	16 21
IV. 1	16 08	VIII. 2	14 44	XII. 3	16 35
4	15 50	5	14 55	6	16 11
7	15 27	8	15 15	9	15 36
10	15 03	11	15 43	12	15 07
13	14 47	14	16 13	15	14 49
16	14 51				
19	15 19	17	16 29	18	14 42
22	16 00	20	16 12	21	14 51
25	16 27	23	15 32	24	15 21
28	16 21	26	14 58	27	16 07
		29	14 46	30	16 42

IV. A szabad szemmel

Merkúr

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látászó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	° ' "	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
I. 1	19 38,8	—23 41	2,54	1,30	—0,7	8 33	12 43	16 53
6	20 12,5	21 57	2,74	1,22	0,7	8 37	12 57	17 17
11	20 43,1	19 39	2,99	1,12	0,6	8 35	13 07	17 39
16	21 07,8	17 04	3,38	0,99	—0,4	8 26	13 11	17 57
21	21 21,6	14 43	3,91	0,85	+0,2	8 07	13 04	18 01
26	21 18,7	13 23	4,55	0,73	1,2	7 36	12 39	17 43
31	20 59,4	13 36	5,03	0,66	2,5	6 57	11 59	17 02
II. 5	20 35,4	14 55	5,07	0,66	2,0	6 20	11 16	16 12
10	20 20,7	16 23	4,74	0,70	1,4	5 54	10 43	15 32
15	20 19,5	17 26	4,30	0,78	0,7	5 40	10 24	15 07
20	20 29,3	17 56	3,90	0,86	0,5	5 33	10 14	14 15
25	20 46,5	17 50	3,57	0,93	0,3	5 31	10 12	14 54
III. 2	21 08,6	17 08	3,30	1,01	0,3	5 30	10 15	15 00
7	21 33,7	15 53	3,09	1,08	0,1	5 29	10 21	15 12
12	22 01,0	14 05	2,92	1,15	+0,0	5 28	10 28	15 29
17	22 29,8	11 45	2,78	1,20	—0,1	5 27	10 38	15 49
22	22 59,9	8 54	2,67	1,25	0,2	5 24	10 48	16 12
27	23 31,3	5 33	2,58	1,29	0,5	5 21	11 00	16 39
IV. 1	0 04,1	— 1 45	2,52	1,33	0,8	5 17	11 13	17 09
6	0 38,6	+ 2 28	2,49	1,43	1,2	5 14	11 28	17 43
11	1 15,1	6 58	2,50	1,34	1,6	5 11	11 45	18 20
16	1 53,5	11 34	2,56	1,30	1,6	5 09	12 04	19 00
21	2 32,8	15 53	2,70	1,24	1,3	5 08	12 24	19 40
26	3 10,9	19 32	2,93	1,14	0,8	5 07	12 42	20 17
V. 1	3 45,6	22 12	3,26	1,03	—0,3	5 06	12 57	20 47
6	4 14,5	23 50	3,68	0,91	+0,3	5 05	13 05	21 05
11	4 36,4	24 32	4,18	0,80	0,8	5 02	13 06	21 10
16	4 50,2	24 24	4,74	0,70	1,3	4 56	12 59	21 03
21	4 55,2	23 33	5,31	0,63	1,8	4 46	12 44	20 42
26	4 52,0	22 09	5,79	0,58	2,5	4 30	12 20	20 10
31	4 43,0	20 26	6,55	0,55	3,2	4 11	11 51	19 31
VI. 5	4 32,2	18 46	6,03	0,55	3,0	3 50	11 21	18 52
10	4 24,2	17 36	5,72	0,58	2,3	3 26	10 50	18 16
15	4 22,3	17 12	5,24	0,64	1,7	3 10	10 33	17 56
20	4 27,7	17 35	4,69	0,71	1,3	2 54	10 19	17 44
25	4 40,7	18 36	4,16	0,80	0,8	2 43	10 13	17 43
30	5 01,2	+20 00	3,69	0,90	+0,4	2 37	10 15	17 52

látható bolygók adatai

Merkúr

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látzó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ′	″	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
VII. 5	5 29,0	+21 31	3,29	1,02	−0,1	2 37	10 23	18 10
10	6 04,0	22 45	2,97	1,13	0,7	2 46	10 39	18 33
15	6 45,2	23 21	2,73	1,22	1,2	3 05	11 01	18 58
20	7 30,3	22 56	2,57	1,30	1,6	3 33	11 27	19 21
25	8 15,8	21 26	2,50	1,34	1,7	4 07	11 53	19 28
30	8 58,8	18 59	2,49	1,34	1,3	4 44	12 16	19 48
VIII. 4	9 37,9	15 54	2,52	1,33	0,9	5 19	12 35	19 51
9	10 13,1	12 28	2,59	1,29	0,6	5 50	12 50	19 50
14	10 44,7	8 53	2,68	1,25	0,3	6 19	13 01	19 44
19	11 13,2	5 16	2,80	1,19	−0,1	6 43	13 10	19 37
24	11 38,9	+ 1 46	2,95	1,13	+0,1	7 04	13 16	19 27
29	12 02,0	− 1 33	3,13	1,07	0,2	7 22	13 19	19 15
IX. 3	12 22,4	4 35	3,36	0,99	0,4	7 36	13 19	19 02
8	12 39,4	7 12	3,63	0,92	0,5	7 44	13 16	18 48
13	12 52,0	9 13	3,96	0,84	0,6	7 46	13 08	18 31
18	12 58,3	10 22	4,36	0,77	0,9	7 36	12 54	18 11
23	12 55,9	10 13	4,77	0,70	1,4	7 13	12 31	17 49
28	12 43,7	8 22	5,08	0,66	2,1	6 32	11 58	17 25
X. 3	12 25,4	5 02	5,05	0,66	2,9	5 39	11 20	17 02
8	12 11,6	1 43	4,60	0,73	1,6	4 52	10 48	16 44
13	12 11,5	0 10	3,97	0,84	+0,4	4 27	10 30	16 32
18	12 29,7	1 09	3,31	1,01	−0,3	4 27	10 25	16 24
23	12 49,1	3 02	3,00	1,11	0,7	4 39	10 29	16 20
28	13 17,3	6 05	2,73	1,22	0,8	5 01	10 38	16 15
XI. 2	13 47,3	9 24	2,55	1,31	0,9	5 27	10 49	16 10
7	14 18,1	12 40	2,43	1,37	0,8	5 53	11 00	16 07
12	14 49,4	15 44	2,36	1,42	0,8	6 19	11 11	16 03
17	15 21,1	18 29	2,32	1,44	0,9	6 45	11 23	16 02
22	15 53,4	20 52	2,30	1,45	0,9	7 10	11 36	16 02
27	16 26,2	22 48	2,31	1,45	0,7	7 34	11 49	16 04
XII. 2	16 59,7	24 16	2,34	1,43	0,6	7 57	12 03	16 09
7	17 33,7	25 13	2,40	1,39	0,6	8 17	12 17	16 18
12	18 08,0	25 35	2,49	1,34	0,6	8 34	12 32	16 30
17	18 42,0	25 21	2,62	1,28	0,6	8 47	12 46	16 46
22	19 14,7	24 30	2,80	1,19	0,5	8 54	12 59	17 04
27	19 44,4	−23 04	3,08	1,09	−0,5	8 55	13 09	17 22

IV. A szabad szemmel

Vénusz

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látászó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o s	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
I. 1	20 43,7	—16 34	26,34	0,32	—4,2	8 56	13 44	18 32
6	20 40,1	15 32	28,27	0,30	4,0	8 27	13 20	18 13
11	20 32,4	14 41	29,92	0,28	3,7	7 55	12 52	17 50
16	20 21,3	14 04	31,04	0,27	3,4	7 21	12 22	17 22
21	20 08,4	13 42	31,40	0,27	3,2	6 47	11 49	16 51
26	19 55,8	13 34	30,90	0,27	3,5	6 14	11 17	16 19
31	19 45,3	13 38	29,67	0,28	3,8	5 45	10 47	15 49
II. 5	19 38,4	13 52	27,94	0,30	4,0	5 20	10 21	15 22
10	19 35,8	14 41	25,97	0,32	4,2	4 56	9 59	14 56
15	19 37,4	14 31	23,98	0,35	4,3	4 43	9 41	14 39
20	19 42,8	14 50	22,07	0,38	4,3	4 31	9 27	14 24
25	19 51,6	15 03	20,33	0,41	4,3	4 22	9 17	14 12
III. 2	20 03,0	15 09	18,76	0,45	4,3	4 14	9 09	14 04
7	20 16,7	15 06	17,36	0,48	4,3	4 08	9 03	13 58
12	20 32,2	14 53	16,12	0,52	4,2	4 02	8 59	13 55
17	20 49,1	14 27	15,03	0,56	4,2	3 58	8 56	13 54
22	21 07,1	13 50	14,06	0,60	4,1	3 53	8 54	13 56
27	21 25,9	13 01	13,20	0,64	4,1	3 48	8 53	13 59
VI. 1	21 45,3	12 01	12,44	0,68	4,0	3 43	8 53	14 03
6	22 05,1	10 49	11,75	0,72	4,0	3 38	8 53	14 09
11	22 25,2	9 27	11,14	0,75	3,9	3 32	8 54	14 15
16	22 45,6	7 55	10,59	0,79	3,8	3 26	8 54	14 23
21	23 06,1	6 16	10,09	0,83	3,8	3 19	8 55	14 31
26	23 26,7	4 28	9,64	0,87	3,8	3 12	8 56	14 40
V. 1	23 47,5	2 35	9,23	0,91	3,7	3 05	8 57	14 49
6	0 08,3	— 0 38	8,86	0,95	3,7	2 58	8 58	14 59
11	0 29,2	+ 1 23	8,52	0,99	3,6	2 50	9 00	15 09
16	0 50,4	3 27	8,21	1,02	3,6	2 42	9 01	15 20
21	1 11,7	5 31	7,92	1,06	3,6	2 35	9 03	15 30
26	1 33,3	7 34	7,66	1,10	3,5	2 28	9 04	15 41
31	1 55,1	9 35	7,42	1,13	3,5	2 21	9 07	15 53
VI. 5	2 17,3	11 32	7,20	1,17	3,5	2 14	9 09	16 04
10	2 39,9	13 25	6,99	1,20	3,5	2 08	9 12	16 16
15	3 02,9	15 11	6,80	1,24	3,4	2 03	9 15	16 28
20	3 26,4	16 49	6,63	1,27	3,4	1 58	9 19	16 40
25	3 50,4	18 18	6,46	1,30	3,4	1 55	9 24	16 52
30	4 14,8	+19 37	6,32	1,33	—3,4	1 53	9 28	17 04

látható bolygók adatai

Vénusz

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látzó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ' "	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
VII. 5	4 39,6	+ 20 43	6,18	1,36	—3,4	1 52	9 33	17 15
10	5 04,9	21 36	6,05	1,39	3,4	1 52	9 39	17 26
15	5 30,5	22 14	5,93	1,42	3,3	1 55	9 45	17 35
20	5 56,5	22 38	5,82	1,44	3,3	1 59	9 51	17 44
25	6 22,5	22 46	5,72	1,47	3,3	2 04	9 58	17 51
VIII. 30	6 48,7	22 37	5,63	1,49	3,3	2 12	10 04	17 57
4	7 14,8	22 12	5,54	1,52	3,3	2 20	10 10	18 01
9	7 40,9	21 32	5,46	1,54	3,3	2 31	10 17	18 03
14	8 06,6	20 35	5,39	1,56	3,3	2 42	10 23	18 04
19	8 32,2	19 24	5,33	1,58	3,3	2 54	10 29	18 03
IX. 24	8 57,3	17 59	5,27	1,60	3,3	3 07	10 34	18 01
29	9 22,1	16 21	5,21	1,61	3,3	3 20	10 39	17 58
3	9 46,5	14 32	5,16	1,63	3,4	3 34	10 44	17 53
8	10 10,5	12 32	5,12	1,64	3,4	3 48	10 48	17 48
13	10 34,2	10 23	5,08	1,66	3,4	4 02	10 52	17 42
X. 18	10 57,6	8 08	5,04	1,67	3,4	4 16	10 56	17 35
23	11 20,7	5 46	5,01	1,68	3,4	4 30	10 59	17 28
28	11 43,7	3 20	4,99	1,69	3,4	4 44	11 02	17 20
3	12 06,6	+ 0 51	4,96	1,69	3,4	4 57	11 04	17 12
8	12 29,4	— 1 39	4,94	1,70	3,4	5 12	11 09	17 05
XI. 13	12 52,4	4 08	4,93	1,71	3,5	5 26	11 13	16 57
18	13 15,5	6 36	4,92	1,71	3,5	5 41	11 15	16 50
23	13 38,8	9 01	4,91	1,71	3,5	5 55	11 19	16 42
28	14 02,4	11 21	4,91	1,71	3,5	6 10	11 23	16 36
2	14 26,5	13 34	4,90	1,71	3,5	6 25	11 27	16 30
XII. 7	14 50,9	15 38	4,91	1,71	3,5	6 39	11 32	16 25
12	15 15,9	17 33	4,91	1,71	3,5	6 54	11 37	16 20
17	15 41,4	19 15	4,92	1,71	3,5	7 09	11 43	16 17
22	16 07,4	20 45	4,93	1,71	3,4	7 23	11 49	16 16
27	16 33,8	22 00	4,94	1,70	3,4	7 37	11 56	16 16
2	17 00,7	22 59	4,96	1,70	3,4	7 50	12 03	16 17
7	17 27,9	23 40	4,98	1,69	3,4	8 01	12 11	16 21
12	17 55,3	24 01	5,00	1,68	3,4	8 11	12 19	16 26
17	18 22,9	24 09	5,03	1,67	3,4	8 19	12 27	16 34
22	18 50,4	23 55	5,06	1,66	3,4	8 26	12 34	16 43
27	19 17,7	—23 23	5,09	1,65	—3,4	8 30	12 42	16 53

IV. A szabad szemmel

Mars

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látászó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ′	″	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
I. 1	12 29,6	— 0 39	3,63	1,29	+0,9	23 29	5 32	11 32
11	12 44,0	2 02	3,93	1,19	0,7	23 10	5 07	11 01
21	12 56,3	3 10	4,28	1,09	0,5	22 48	4 40	10 29
31	13 06,1	4 00	4,68	1,00	0,3	22 21	4 10	9 56
II. 10	13 12,8	4 31	5,15	0,91	+0,1	21 50	3 37	9 21
20	13 15,5	4 38	5,66	0,83	—0,2	21 13	3 01	8 44
III. 2	13 13,7	4 20	6,20	0,75	0,5	20 30	2 19	8 04
12	13 07,0	3 37	6,71	0,68	0,7	19 41	1 33	7 21
22	12 56,0	2 33	7,12	0,66	1,0	18 45	0 43	6 35
IV. 1	12 42,0	1 17	7,35	0,64	1,2	17 46	23 44	5 48
11	12 27,6	— 0 05	7,33	0,64	1,1	16 48	22 51	4 59
21	12 15,3	+ 0 47	7,09	0,66	0,9	15 43	22 00	4 11
V. 1	12 07,0	1 12	6,71	0,70	0,7	15 04	21 13	3 26
11	12 03,6	1 06	6,26	0,75	0,5	14 22	20 30	2 42
21	12 04,8	+ 0 32	5,80	0,81	0,3	13 47	19 53	2 02
31	12 10,3	— 0 26	5,37	0,87	—0,1	13 18	19 19	1 24
VI. 10	12 19,4	1 45	4,98	0,94	+0,1	12 53	18 49	0 48
20	12 31,3	3 20	4,64	1,01	0,3	12 33	18 22	0 14
30	12 45,8	5 08	4,34	1,09	0,4	12 16	17 57	23 38
VII. 10	13 02,4	7 05	4,08	1,15	0,5	12 02	17 34	23 07
20	13 20,8	9 09	3,86	1,21	0,6	11 51	17 14	22 37
30	13 40,9	11 16	3,66	1,28	0,7	11 41	16 54	22 08
VIII. 9	14 02,6	13 24	3,49	1,34	0,8	11 33	16 37	21 40
19	14 25,8	15 30	3,34	1,40	0,9	11 27	16 21	21 14
29	14 50,5	17 31	3,21	1,46	0,9	11 23	16 06	20 49
IX. 8	15 16,7	19 24	3,09	1,51	1,0	11 19	15 53	20 26
18	15 44,3	21 05	2,99	1,57	1,0	11 17	15 41	20 06
28	16 13,2	22 31	2,90	1,62	1,1	11 14	15 31	19 47
X. 8	16 43,5	23 39	2,81	1,66	1,1	11 12	15 22	19 32
18	17 14,8	24 26	2,73	1,71	1,1	11 08	15 14	19 19
28	17 47,0	24 49	2,66	1,76	1,2	11 04	15 07	19 10
XI. 7	18 19,9	24 46	2,60	1,80	1,2	10 57	15 00	19 03
17	18 53,1	24 16	2,54	1,85	1,2	10 48	14 54	19 00
27	19 26,3	23 20	2,48	1,89	1,2	10 36	14 48	18 56
XII. 7	19 59,3	21 58	2,42	1,93	1,3	10 21	14 41	19 01
17	20 31,7	20 11	2,37	1,97	1,3	10 05	14 34	19 03
27	21 03,6	—18 02	2,32	2,01	+1,3	9 46	14 27	19 07

látható bolygók adatai

Jupiter

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látászo sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ' "	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
I. 1	14 16,5	—12 26	15,84	5,80	—1,4	2 10	7 18	12 26
11	14 21,9	12 51	16,26	5,65	1,5	1 38	6 44	11 50
21	14 26,3	13 11	16,73	5,49	1,6	1 05	6 09	11 14
31	14 29,7	13 26	17,24	5,33	1,6	0 30	5 33	10 36
II. 10	14 32,1	13 35	17,77	5,17	1,7	23 50	4 56	9 56
20	14 33,3	13 39	18,33	5,01	1,8	23 12	4 18	9 20
III. 2	14 33,2	13 36	18,88	4,87	1,8	22 32	3 39	8 41
12	14 31,9	13 28	19,41	4,74	1,9	21 51	2 58	8 01
22	14 29,5	13 15	19,88	4,62	1,9	21 08	2 16	7 20
IV. 1	14 26,1	12 57	20,27	4,53	2,0	20 24	1 34	6 39
11	14 21,8	12 35	20,56	4,47	2,0	19 38	0 50	5 57
21	14 17,1	12 11	20,72	4,44	2,0	18 52	0 06	5 15
V. 1	14 12,2	11 46	20,74	4,43	2,0	18 06	23 17	4 33
11	14 07,4	11 22	20,62	4,46	2,0	17 21	22 33	3 50
21	14 03,1	11 01	20,37	4,51	2,0	16 35	21 50	3 09
31	13 59,6	10 44	20,01	4,59	1,9	15 51	21 07	2 27
VI. 10	13 57,0	10 33	19,57	4,70	1,9	15 09	20 25	1 46
20	13 55,5	10 27	19,07	4,82	1,8	14 28	19 45	1 06
30	13 55,1	10 28	18,55	4,96	1,8	13 48	19 05	0 26
VII. 10	13 55,9	10 35	18,01	5,10	1,7	13 10	18 27	23 43
20	13 57,7	10 48	17,49	5,25	1,7	12 34	17 49	23 05
30	14 00,6	11 07	16,99	5,41	1,6	11 59	17 13	22 27
VIII. 9	14 04,5	11 30	16,53	5,56	1,5	11 25	16 37	21 50
19	14 09,3	11 57	16,11	5,71	1,5	10 53	16 03	21 13
29	14 14,8	12 28	15,72	5,85	1,4	10 21	15 29	20 37
XI. 8	14 21,1	13 02	15,39	5,97	1,4	9 51	14 56	20 01
18	14 27,9	13 38	15,10	6,09	1,3	9 21	14 24	19 26
28	14 35,4	14 15	14,86	6,18	1,3	8 52	13 52	18 51
X. 8	14 43,2	14 53	14,67	6,27	1,3	8 24	13 20	18 16
18	14 51,5	15 31	14,53	6,33	1,3	7 56	12 49	17 42
28	15 00,1	16 09	14,43	6,37	1,3	7 28	12 18	17 08
XI. 7	15 08,8	16 46	14,38	6,39	1,2	7 01	11 48	16 35
17	15 17,7	17 22	14,39	6,39	1,2	6 32	11 16	16 00
27	15 26,7	17 56	14,44	6,37	1,3	6 06	10 47	15 28
XII. 7	15 35,5	18 27	14,54	6,32	1,3	5 38	10 16	14 55
17	15 44,3	18 57	14,69	6,26	1,3	5 10	9 46	14 22
27	15 52,8	—19 23	14,89	6,17	—1,3	4 41	9 15	13 48

IV. A szabad szemmel látható bolygók adatai
Szaturnusz

Dátum	0 ^a világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látészó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ' "	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
I. 1	13 22,9	— 6 07	7,62	9,78	+0,9	0 48	6 25	12 01
11	13 24,6	6 14	7,75	9,62	0,9	0 11	5 47	11 23
21	13 25,7	6 17	7,89	9,45	0,9	23 29	5 09	10 45
31	13 26,1	6 17	8,03	9,29	0,8	22 50	4 30	10 06
II. 10	13 25,9	6 13	8,16	9,14	0,8	22 10	3 50	9 26
20	13 25,0	6 04	8,29	9,00	0,7	21 29	3 10	8 47
III. 2	13 23,5	5 53	8,40	8,88	0,7	20 47	2 29	8 07
12	13 21,5	5 39	8,49	8,79	0,6	20 05	1 48	7 27
22	13 19,0	5 23	8,55	8,72	0,6	19 22	1 06	6 46
IV. 1	13 16,3	5 05	8,59	8,68	0,5	18 39	0 24	6 05
11	13 13,5	4 48	8,60	8,67	0,5	17 55	23 38	5 23
21	13 10,7	4 31	8,58	8,69	0,6	17 12	22 56	4 43
V. 1	13 08,0	4 15	8,53	8,74	0,6	16 29	22 14	4 03
11	13 05,6	4 02	8,46	8,82	0,7	15 46	21 32	3 22
21	13 03,7	3 52	8,39	8,92	0,7	15 04	20 51	2 41
31	13 02,2	3 45	8,24	9,04	0,8	14 23	20 10	2 01
VI. 10	13 01,4	3 42	8,12	9,19	0,9	13 43	19 30	1 21
20	13 01,1	3 43	7,98	9,34	0,9	13 03	18 50	0 42
30	13 01,4	3 48	7,85	9,50	1,0	12 25	18 12	23 58
VII. 10	13 02,4	3 57	7,71	9,67	1,0	11 47	17 33	23 19
20	13 03,9	4 09	7,58	9,83	1,0	11 10	16 55	22 41
30	13 06,0	4 24	7,46	9,99	1,1	10 34	16 18	22 02
VIII. 9	13 08,6	4 43	7,35	10,14	1,1	9 59	15 41	21 24
19	13 11,6	5 03	7,25	10,28	1,1	9 24	15 05	20 47
29	13 15,0	5 26	7,17	10,41	1,0	8 50	14 29	20 09
IX. 8	13 18,8	5 51	7,09	10,51	1,0	8 16	13 54	19 32
18	13 22,9	6 16	7,04	10,60	1,0	7 43	13 19	18 54
28	13 27,2	6 43	6,99	10,66	1,0	7 10	12 44	18 18
X. 8	13 31,7	7 09	6,97	10,70	0,9	6 37	12 09	17 41
18	13 36,2	7 36	6,96	10,72	0,9	6 04	11 34	17 04
28	13 40,8	8 02	6,97	10,71	0,9	5 31	10 59	16 27
XI. 7	13 45,3	8 28	6,99	10,67	0,9	4 58	10 24	15 50
17	13 49,7	8 52	7,03	10,61	0,9	4 25	9 49	15 14
27	13 53,9	9 14	7,08	10,53	0,9	3 52	9 14	14 37
XII. 7	13 57,9	9 34	7,16	10,42	0,9	3 18	8 39	14 00
17	14 01,5	9 52	7,24	10,30	0,9	2 43	8 03	13 23
27	14 04,7	—10 07	7,34	10,16	+0,9	2 08	7 27	12 46

IVa. Az Uránusz és Neptunusz adatai

Dátum	0 ^h világidőkor					KözEI-ben Budapesten		
	RA	D	látszó sugár	r	m	kel	delel	nyugszik
	h m	o ' "	"	cs. e.	magn.	h m	h m	h m
Uránusz								
I. 1	16 02,7	—20 32	1,75	19,62	+6,0	4 37	9 04	13 31
31	16 08,1	20 47	1,78	19,23	5,9	2 45	7 11	11 37
III. 2	16 10,7	20 54	1,83	18,73	5,9	0 50	5 16	9 41
IV. 1	16 09,9	20 52	1,88	18,26	5,8	22 48	3 17	7 43
V. 1	16 06,2	20 42	1,91	17,95	5,8	20 45	1 16	5 42
31	16 01,2	20 28	1,92	17,87	5,8	18 41	23 09	3 40
VI. 30	15 56,5	20 15	1,90	18,06	5,8	16 37	21 06	1 39
VII. 30	15 54,0	20 08	1,86	18,45	5,9	14 36	19 06	23 35
VIII. 29	15 54,5	20 10	1,81	18,95	5,9	12 39	17 08	21 38
IX. 28	15 58,1	20 22	1,76	19,43	6,0	10 46	15 14	19 42
X. 28	16 04,2	20 39	1,73	19,77	6,0	8 55	13 22	17 49
XI. 27	16 11,7	21 00	1,72	19,90	6,0	7 07	11 32	15 57
XII. 27	16 19,3	—21 19	1,73	19,78	+6,0	5 18	9 41	14 04
Neptunusz								
I. 1	17 39,1	—22 06	1,17	31,22	+7,8	6 21	10 40	14 59
31	17 43,4	22 07	1,18	30,97	7,8	4 28	8 46	13 05
III. 2	17 46,3	22 08	1,20	30,53	7,8	2 33	6 51	11 10
IV. 1	17 47,2	22 07	1,22	30,02	7,7	0 36	4 54	9 13
V. 1	17 46,1	22 06	1,24	29,57	7,7	22 32	2 55	7 14
31	17 43,3	22 04	1,25	29,30	7,7	20 31	0 54	5 13
VI. 30	17 39,8	22 03	1,25	29,28	7,7	18 30	22 49	3 12
VII. 30	17 36,9	22 02	1,24	29,51	7,7	16 29	20 48	1 07
VIII. 29	17 35,4	22 02	1,22	29,93	7,7	14 30	18 49	23 08
IX. 28	17 35,9	22 04	1,20	30,43	7,8	12 32	16 51	21 10
X. 28	17 38,4	22 07	1,18	30,89	7,8	10 37	14 56	19 15
XI. 27	17 42,5	22 10	1,17	31,18	7,8	8 44	13 02	17 21
XII. 27	17 47,3	—22 12	1,17	31,24	+7,8	6 51	11 09	15 27

V. Bolygók héliocentrikus

Dátum	Merkúr		Vénusz		Föld	
	λ	β	λ	β	λ	β
	.	.	.	.	.	0,001°
I. 1	323,6	−7,0	87,5	+0,7	99,8	−4
11	6,7	−4,6	103,7	+1,6	110,0	−4
21	63,6	+1,9	119,9	+2,4	120,2	−4
31	125,1	+6,8	136,2	+2,9	130,3	−3
II. 10	174,0	+5,7	152,4	+3,3	140,5	−3
20	210,3	+2,1	168,7	+3,4	150,6	−2
III. 2	239,9	−1,5	184,9	+3,2	160,6	−1
12	267,5	−4,5	201,0	+2,8	170,6	0
22	296,6	−6,5	217,1	+2,1	180,6	+1
IV. 1	331,4	−6,8	233,1	+1,3	190,5	+1
11	17,1	−3,6	249,0	+0,4	200,3	+2
21	76,4	+3,4	264,9	−0,5	210,1	+3
V. 1	136,3	+7,0	280,7	−1,4	219,8	+4
11	182,2	+5,0	296,5	−2,2	229,5	+4
21	216,6	+1,4	312,3	−2,8	239,2	+4
31	245,5	−2,2	328,1	−3,2	248,9	+4
VI. 10	273,1	−5,0	344,0	−3,4	258,4	+4
20	303,1	−6,8	359,9	−3,3	267,9	+4
30	339,6	−6,5	15,8	−3,0	277,5	+4
VII. 10	28,2	−2,4	31,8	−2,4	287,4	+4
20	89,2	+4,7	47,8	−1,6	296,6	+4
30	146,8	+6,9	63,8	−0,7	306,1	+3
VIII. 9	189,9	+4,3	79,9	+0,2	315,7	+3
19	222,8	+0,6	96,1	+1,2	325,3	+2
29	251,1	−2,8	112,3	+2,0	335,0	+2
IX. 8	278,9	−5,5	128,5	+2,7	344,6	+1
18	309,8	−6,9	144,8	+3,2	354,4	0
28	348,3	−6,0	161,0	+3,4	4,1	−1
X. 8	39,8	−1,0	177,3	+3,3	14,0	−2
18	101,9	+5,7	193,4	+3,0	23,8	−2
28	156,7	+6,6	209,5	+2,5	33,8	−3
XI. 7	197,2	+3,6	225,6	+1,7	43,8	−3
17	228,8	−0,1	241,5	+0,9	53,9	−4
27	256,7	−3,4	257,4	−0,1	64,0	−4
XII. 7	284,8	−5,9	273,2	−1,0	74,2	−4
17	316,8	−7,0	289,1	−1,8	84,3	−4
27	357,6	−5,4	304,9	−2,6	94,5	−4

λ : ekliptikai hosszúság

β : ekliptikai szélesség

ekliptikai koordinátái (0^h világidőkor)

Dátum	Mars		Jupíter		Szaturnusz	
	λ	β	λ	β	λ	β
I. 1	150,5	+1,8	206,3	+1,3	195,3	+2,5
11	154,8	+1,8	207,0	+1,2	195,6	+2,5
21	159,2	+1,8	207,8	+1,2	195,9	+2,5
31	163,6	+1,7	208,6	+1,2	196,2	+2,5
II. 10	168,0	+1,6	209,4	+1,2	196,5	+2,5
20	172,4	+1,5	210,1	+1,2	196,9	+2,5
III. 2	176,8	+1,5	210,9	+1,2	197,2	+2,5
12	181,2	+1,4	211,6	+1,2	197,6	+2,5
22	185,7	+1,3	212,4	+1,2	197,9	+2,5
IV. 1	190,2	+1,2	213,1	+1,2	198,2	+2,5
11	194,8	+1,1	213,9	+1,2	198,6	+2,5
21	199,3	+0,9	214,6	+1,2	198,9	+2,5
V. 1	204,0	+0,8	215,4	+1,2	199,2	+2,5
11	208,7	+0,6	216,1	+1,2	199,5	+2,5
21	213,5	+0,5	216,9	+1,2	199,9	+2,5
31	218,3	+0,3	217,7	+1,2	200,2	+2,5
VI. 10	223,3	+0,2	218,5	+1,1	200,5	+2,5
20	228,2	+0,0	219,2	+1,1	200,8	+2,5
30	233,3	-0,2	220,0	+1,1	201,1	+2,5
VII. 10	238,4	-0,3	220,7	+1,1	201,5	+2,5
20	243,7	-0,5	221,5	+1,1	201,8	+2,5
30	248,9	-0,6	222,3	+1,1	202,1	+2,5
VIII. 9	254,4	-0,8	223,1	+1,1	202,5	+2,5
19	259,8	-0,9	223,8	+1,1	202,8	+2,5
29	265,5	-1,1	224,6	+1,1	203,1	+2,5
IX. 8	271,1	-1,2	225,3	+1,1	203,4	+2,5
18	277,0	-1,4	226,1	+1,1	203,7	+2,5
28	282,8	-1,5	226,8	+1,0	204,0	+2,5
X. 8	288,9	-1,6	227,6	+1,0	204,4	+2,5
18	294,9	-1,7	228,4	+1,0	204,7	+2,5
28	301,1	-1,8	229,2	+1,0	205,0	+2,5
XI. 7	307,2	-1,8	229,9	+1,0	205,3	+2,5
17	313,5	-1,8	230,7	+1,0	205,7	+2,5
27	319,7	-1,8	231,5	+1,0	206,0	+2,5
XII. 7	326,1	-1,8	232,3	+1,0	206,3	+2,5
17	332,4	-1,8	233,0	+1,0	206,6	+2,5
27	338,8	-1,8	233,8	+1,0	207,0	+2,5

Via A Jupiter-holdak helyzetei (KözEI-ben)

Nap	Január			Február		
	a holdak a bolygó			a holdak a bolygó		
	nyugati oldalán		keleti oldalán	nyugati oldalán		keleti oldalán
	6 ^h			4 ^h		
1	4.	.2	1. .3	4. .1	2..3	
2	.4	12..	3.	4. 2.3.	1.	
3	.4		.1 2..3	4. 3. 21..		
4	.4	32..		4. 3.	2.	
5		3..4.2 .1		.4	3.	.1
6		.3 .4	1..2	4.	2. 1.	.3
7		1..3	2..4	.4		2..1 .3
8		.2	1. .3 .4	4..1	2..3	
9		1..2	.3 .4	.2.3	.4.1	
10			.1 2..3 4.	.3 2..1	.4	
11			4.	.3	.1 .2 .4	
12		3..2 1.	4.	.3	.2	.4
13		.3	2..1 4.	.2 .1	.3	4.
14		3..1	4..2		.2.1 .3	.4
15		.2.4	3..4	.1	2..3 .4	
16		.4 1..2	3.	2.3.	.1 .4	
17	.4		1.2. 3.	.3 2..1	.4	
18	.4	1.	.32	.3 .4	.1 .2	
19	.4	3..2		.4 .31.	.2	
20	4. 3.		.21	.4 .2 1.	.3	
21	4.	3.1.	2.	.4	.1 .3	
22		4. 2.	3..1	.4	2..3	
23		2..1	3.	.4	.1	
24			1.2..4.3	.4.3.2.1		
25		1.	2..3 4.	.3 .4	1..2	
26		2..3	.1 4.	.3 .1	4..2	
27	.3		4.	.2	.3 .4	
28		3. 1.	2. 4.	2.	.1 .3 .4	
29		2.	.3.1 4.			
30		2.1.	3..4			
31			4...12 3.			

Vlb. A Jupiter-holdak fogyatkozásai (KözEI-ben)

Dátum	h m	hold		Dátum	h m	hold	
I. 2	5 25	k	2	II. 3	4 41	k	1
4	2 42	k	1		5 06	k	2
5	21 10	k	1	4	23 09	k	1
	23 20	v	1	5	1 19	k	3
7	1 30	k	3		3 40	v	3
9	7 01	k	2	6	17 38	k	1
11	4 35	k	1		18 23	k	2
12	21 19	k	2		20 54	v	2
	23 03	k	1	10	6 34	k	1
14	17 31	k	1	12	1 02	k	1
18	6 27	k	1		5 16	k	3
19	23 55	k	2	13	19 30	k	1
20	0 56	k	1		20 59	k	2
21	17 24	k	3	19	2 55	k	1
	19 24	k	1	20	21 23	k	1
	19 47	v	3		23 35	k	2
27	2 30	k	2	26	4 48	k	1
	2 48	k	1	27	23 16	k	1
	5 02	v	2	28	2 11	k	2
28	21 17	k	1				
	21 21	k	3				
	23 43	v	3				
30	18 19	v	2				

Via. A Jupiter-holdak helyzetei (KözEI-ben)

Nap	Március			Április		
	a holdak a bolygó			a holdak a bolygó		
	nyugati oldalán	keleti oldalán		nyugati oldalán	keleti oldalán	
	3 ^h			2 ^h		
1	.1	.2.3	.4	.3 2.	.1 .4	
2	2.	3..1	4.	.3 .1	.2 .4	
3	3...21	.4		3.2.	.1	.4
4	.3	2..1	.4	.2.1	.3	4.
5	.3 .1	.2.4			1..2	.3 .4
6	.2	..31		1.	.2 .3	.4
7	.4 .2	.3		.2	.4	
8	.4 1.	.2 .3		.3 .2	..41	
9	.4	1..3		.3 .4.1	.2	
10	.4 2..3.1			.4 .3	.1	
11	.4 .3	.2.1		.4 2..1	.3	
12	.4 .3 .1	.2		.4	2..1	.3
13	.4 .2	.1		.4 .1	.2 .3	
14	241...	.3		.4 .2	..13	
15		4..2 .3		.4 .3 .2		
16		.. 213 .4		.3 4..1	.2	
17	2.3..1	.4		.3	4..1	
18	.3	.2.1		.2.1	.3 .4	
19	.3 .1	.2			2..1	.3 .4
20	2.3.	.1 .4		.1	.2 .3 .4	
21	.2.1	.3 .4		.2	..13 4.	
22		.4.2 .3		.3.2	.4	
23	.4	..12.3		.3 1.	.2 .4	
24	.4.23..1			.3	..21.4	
25	.4 .3	.1		.21.4.	.3	
26	.4 .3 .1	.2		.4	.2 .1 .3	
27	.4 2..3	.1		.4 .1	.2 .3	
28	.4 2..1	.3		.4 .2	2..3	
29	.4	.1 .2 .3		.4 3..21.		
30	.4	.2 .3		.4 .3	.2	
31	2.31..	.4				

VIIb. A Jupiter-holdak fogyatkozásai (KözEI-ben)

Dátum		h m		hold	Dátum		h m		hold
III.	1	17 44	k	1	IV.	1	1 52	k	2
	5	19 27	v	3		6	3 10	k	1
	7	1 09	k	1		7	21 39	k	1
		4 46	k	2		8	4 28	k	2
	8	19 37	k	1		13	5 04	k	1
	10	18 05	k	2		14	23 32	k	1
	12	21 05	k	3		18	20 21	k	2
		23 23	v	3		22	1 26	k	1
	14	3 02	k	1		23	19 54	k	1
	15	21 30	k	1		24	20 53	k	3
	17	20 40	k	2		25	22 57	k	2
	20	1 02	k	3		26	1 24	v	2
		3 20	v	3		30	23 58	v	1
	21	4 55	k	1					
	22	23 24	k	1					
	24	23 16	k	2					
	27	5 01	k	3					
	30	1 17	k	1					
	31	19 45	k	1					

Via. A Jupiter-holdak helyzetei (KözEI-ben)

Nap	Május		Június	
	a holdak a bolygó		a holdak a bolygó	
	nyugati oldalán	keleti oldalán	nyugati oldalán	keleti oldalán
	22°		22°	
1	4.2.31..		.4	1..2 .3
2	24..	.1 .3	.4 .2.1	.3
3	.1	.4.2 .3	.4 .3 2.	.1 .
4		1..3 .4	.3 1..4	.2
5	2.1..3	.4	.3 2.	1..4
6	.3	1..2 .4.	.2 .1	.3 .4
7	.3 1.	.2 .4.		.1.2 .3 .4
8	.2.3	.4		.1 .2 .3 .4.
9	.2	.1 .3 .4	.2 .1	.3 .4.
10	.1	.4.2 .3	.3 .2	.1 .4
11	.4	.1 .3	.3 .1	.2 .4
12	.4.2.13.		.3	.1.4
13	.4 .8	2..1	.21.4.	
14	.4 .3 .1	.2	.4	..12 .3
15	.4 2..3	.1	.4	.2 .3
16	.4 .2	.1 .3	.4 .21.	.3
17	.4 .1	.2 .3	.4 3..2	.1
18	.4	.2.1 .3	.4 .3 .1	.2
19	.2.1	.4	.4 .3	.2 .1
20	.3	.2.1 .4	4..21.3.	
21	.3 .1	.2 .4	.4	..21 .3
22	3..2	.1 .4	.1.	4..2 .3
23	.2	.3 .4.	.2	.3 .4
24	.1.	.2 .3 .4	.2.3	.1 .4
25		2..1 .3 .4	.3 .1	.2 .4.
26	.2 .1	.3 .4	.3	2..1 .4
27	.3	.4 .1	.2.1.3	.4
28	.3 .4.1	.2		.1.3 .4
29	.4 .3 .2	.1	.1	.4.2 .3
30	.4 .2 1.	.3	4..2	.1 .3
31	.4	.2 .3		

VIb. A Jupiter-holdak fogyatkozásai (KözEI-ben)

[illegible]

Vla. A Jupiter-holdak helyzetei (KözEI-ben)

Nap	Július		Augusztus	
	a holdak a bolygó		a holdak a bolygó	
	nyugati oldalán	keleti oldalán	nyugati oldalán	keleti oldalán
	21 ^h		20 ^h	
1	.4 .2 3.		.3 .2	.4
2	.4 .3 .1	.2	.2 3.	.1
3	.4 .3	1..2	.4 .1	.2.3
4	.4 2...31		.4	2..1 .3
5	.4 .2	1..3	.4 2..1	.3
6	.4 .1	.2 .3	.4 32..	.1
7	.4 2.	.1 .3	.4 .3 .1	.2
8	.2 1.	.4	.4 .3 2.	.1
9	.3 1.	.2 .4	.4 .2.3	
10	.3	.1.2 .4	4..1	.2.3
11	3...21	.4		1...42 .3
12	.2	3..1 4.	2..1	.3.4
13	.1	.2.3 .4	.2	.1 .4
14		.1 .3 .4	.3 .1	.2 4.
15	.2 .1	.3 .4	.3	.1 4.
16	.3	..42	.2.3	.4
17	.3 .4	.1 .2	1.	.2.3 .4
18	.4 .3.2.1			1.2..4 .3
19	.4 .2	3..1	21..4.	.3
20	.4 .1	.2 .3	.4 .2	.3 .1
21	.4	.2.1 .3	.4 .3 .1	.2
22	.4 .2 .1	.3	.4 .3	.2.1
23	.4 .3	..12	.4 2..3 1.	
24	.3 .4	.2	.4	..23
25	.3 2..1	.4	.4	.1 .2 .3
26	.2	.1 .4	.4 2..1	.3
27	.1	.2.3 .4	.24.	3..1
28		.2.1 .3 .4	3..1	2..4
29	.2 .1	.3 4.	.3	2..1 .4
30	.3	.1 .4	3..2 .1	.4
31	.3 1.	.2 .4		..31 4.

VIb. A Jupiter-holdak fogyatkozásai (KözEI-ben)

Dátum		h m		hold	Dátum		h m		hold
VII.	1	22 41	k	1	VIII.	1	0 51	v	1
	6	3 16	k	2		2	19 20	v	1
	9	0 37	k	1		7	2 53	v	2
	13	3 27	v	2		8	2 46	v	1
	16	2 32	v	1		9	21 15	v	1
	17	21 01	v	1		16	23 10	v	1
	19	20 41	k	3		24	1 06	v	1
		22 51	v	3			18 47	v	3
	23	21 43	v	2			21 19	v	2
	24	22 56	v	1		25	19 34	v	1
	27	0 40	k	3		31	3 01	v	1
		2 50	v	3			20 37	k	3
	30	21 54	k	2			22 46	v	3
	31	0 18	v	2			23 53	v	2
<i>k</i> vagy <i>v</i> betű azt mutatja, hogy a szomszédos oszlop időadata a jelenség kezdetére, ill. végére vonatkozik-e.									

VII. A Mars és a Jupiter centrálmeridiánjának planetografikus

0 ^h világidőkor		Mars	Jupiter		Szaturnusz	
			I.	II.	a	b
		.	.	.	"	"
Január	4	120	240	317	38,57	8,25
	8	82	152	198	38,83	8,34
	12	44	63	79	39,10	8,43
	16	6	334	320	39,37	8,51
	20	328	246	201	39,65	8,58
	24	291	157	82	39,92	8,65
	28	253	69	323	40,20	8,71
Február	1	216	341	204	40,47	8,76
	5	179	252	85	40,75	8,80
	9	142	164	326	41,01	8,83
	13	105	76	208	41,27	8,85
	17	68	348	89	41,52	8,87
	21	32	259	330	41,77	8,87
	25	356	171	212	42,00	8,86
Március	1	320	83	93	42,21	8,85
	5	284	355	334	42,41	8,82
	9	248	267	216	42,60	8,79
	13	213	179	97	42,76	8,74
	17	178	91	339	42,91	8,69
	21	142	3	221	43,03	8,62
	25	108	276	102	43,14	8,55
Április	29	73	188	344	43,21	8,47
	2	38	100	225	43,27	8,39
	6	3	12	107	43,30	8,30
	10	328	284	349	43,31	8,21
	14	293	196	230	43,29	8,11
	18	258	108	112	43,25	8,01
	22	223	21	354	43,18	7,90
Május	26	187	293	235	43,09	7,80
	30	152	205	117	42,98	7,70
	4	116	117	358	42,85	7,59
	8	80	29	240	42,70	7,50
	12	43	301	121	42,52	7,40
	16	7	213	3	42,34	7,31
	20	330	125	244	42,13	7,22
Június	24	293	37	126	41,91	7,14
	28	256	309	7	41,68	7,06
	1	218	220	248	41,44	6,99
	5	181	132	129	41,19	6,93
	9	143	44	10	40,93	6,87
	13	105	315	251	40,66	6,82
	17	67	227	132	40,39	6,78
	21	29	138	13	40,12	6,75
	25	351	49	254	39,85	6,72
	29	312	321	135	39,57	6,70

A megadott planetografikus hosszúságok a bolygó forgási tengelyével definiált koordinátákat adják meg; a Szaturnusz gyűrűjére megadott a és b a gyűrű látszólagos nagy- és kistengelyét jelenti.

hosszúsága és adatok a Szaturnusz gyűrűjére vonatkozólag

0 ^a világidőkor		Mars	Jupiter		Szaturnusz	
			I.	II.	a	b
		.	.	.	"	"
Július	3	274	232	16	39,30	6,69
	7	236	143	256	39,03	6,69
	11	197	54	137	38,76	6,69
	15	158	326	18	38,50	6,70
	19	120	237	258	38,24	6,71
	23	81	148	139	37,99	6,74
	27	42	59	19	37,74	6,77
	31	3	330	260	37,51	6,80
Augusztus	4	325	240	140	37,28	6,84
	8	286	151	20	37,06	6,89
	12	247	62	261	36,85	6,94
	16	208	333	141	36,65	7,00
	20	169	244	21	36,46	7,06
	24	130	154	261	36,28	7,13
	28	91	65	142	36,11	7,20
Szeptember	1	52	336	22	35,95	7,27
	5	13	247	262	35,80	7,35
	9	334	157	142	35,67	7,44
	13	295	68	22	35,55	7,52
	17	256	339	262	35,44	7,61
	21	217	249	142	35,34	7,71
	25	178	160	23	35,26	7,80
	29	139	71	263	35,19	7,90
Október	3	100	341	143	35,13	8,01
	7	61	252	23	35,08	8,11
	11	22	162	263	35,05	8,22
	15	343	73	143	35,03	8,33
	19	304	344	23	35,03	8,44
	23	265	254	263	35,03	8,56
	27	226	165	144	35,05	8,67
	31	187	76	24	35,09	8,79
November	4	147	346	264	35,13	8,91
	8	108	257	144	35,19	9,03
	12	69	168	24	35,27	9,15
	16	30	78	264	35,35	9,28
	20	351	349	145	35,45	9,40
	24	311	260	25	35,57	9,53
	28	272	171	265	35,69	9,65
December	2	233	82	145	35,83	9,78
	6	193	352	26	35,98	9,90
	10	154	263	266	36,14	10,03
	14	114	174	146	36,32	10,15
	18	75	85	27	36,50	10,28
	22	35	356	267	36,70	10,40
	26	356	267	148	36,90	10,52
	30	316	178	28	37,12	10,64

A Jupiter esetében az I. és a II. adatok rendre, nagyjából a bolygó egyenlítő környéki sávjára, ill. a bolygófelület egyéb helyeire vonatkoznak.

VIII. Bolygókorongok megvilágításának adatai

Dátum	Merkúr		Vénusz		Mars	
	K	I	K	I	K	I
	%	°	%	°	%	°
I. 1	92	32	12	139	90	36
11	75	59	4	157	91	36
21	36	106	1	171	91	35
31	2	165	4	157	92	33
II. 10	19	129	12	139	93	30
20	46	95	21	125	95	26
III. 2	64	74	30	114	97	21
12	75	59	37	105	98	15
22	85	46	44	98	100	8
IV. 1	94	29	49	91	100	2
11	100	7	54	85	99	9
21	90	36	59	80	98	17
V. 1	61	77	63	75	96	23
11	32	111	67	70	94	29
21	11	142	70	66	92	33
31	1	172	74	62	90	36
VI. 10	6	152	77	57	89	38
20	22	124	80	53	88	40
30	45	96	83	49	88	41
VII. 10	73	62	85	45	87	42
20	96	22	88	41	87	42
30	98	16	90	37	87	42
VIII. 9	88	40	92	33	87	42
19	78	56	94	29	88	41
29	67	71	95	25	88	40
IX. 8	52	87	97	21	88	40
18	31	112	98	17	89	39
28	6	154	99	14	90	38
X. 8	11	143	99	10	90	37
18	55	84	100	6	91	36
28	86	43	100	3	91	34
XI. 7	97	19	100	2	92	33
17	100	4	100	4	93	32
27	99	9	100	8	93	30
XII. 7	96	22	99	11	94	29
17	89	38	98	14	94	28
27	71	64	98	18	95	26

K: a bolygó korongjának a Nap által megvilágított hányada

I: a bolygó centrumából nézve a Nap és a Föld látszólagos szögtávolsága

IX. Fényesebb csillagok katalógusa ($m \leq 3,5$)

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° '	magn.		"	km/s
α And	00 07 24	+28 59	+2,1	B9p	0,024	—11,7
β Cas	08 09	+59 03	2,3 _v	F2 IV	0,072	+11,8
γ Peg	12 15	+15 05	2,8 _v	B2 IV	0,004	+04,1
β Hyi	24 46	—77 22	2,8	G1 IV	0,153	+22,8
α Phe	25 21	—42 25	2,4	K0 III	0,035	+74,6
δ And A	38 19	+30 45	3,3	K3 III	0,024	—07,3
α Cas	39 25	+56 26	2,2	K0 II—III	0,009	—03,8
β Cet	42 38	—18 05	2,0	K1 III	0,057	+13,1
η Cas A	47 57	+57 43	3,5	G0 V	0,182	+09,4
γ Cas A	55 33	+60 36	2,5 _v	B0 IV:pe	0,034	—06,8
β Phe AB	01 05 14	—46 49	3,3	G8 III	0,017	—01,1
η Cet	07 38	—10 17	3,4	K3 III	0,032	+11,5
β And	08 40	+35 31	2,0	M0 III	0,043	+00,3
δ Cas	24 34	+60 08	2,7	A5 V	0,029	+06,7
γ Phe	27 33	—43 25	3,4	K5 IIb—III	0,003	+25,7
α Eri	37 01	—57 20	0,5	B3 Vp	0,023	+19,0
τ Cet	43 11	—16 02	3,5	G8 Vp	0,275	—16,2
α Tri	52 00	+29 29	3,4	F6 IV	0,050	—12,6
ε Cas	53 01	+63 35	3,4	B3 IV:p	0,007	—08,1
β Ari	53 35	+20 43	2,7	A5 V	0,063	—04,0
α Hyi	58 10	—61 40	2,8	F0 V	0,104	+07,0
γ And A	02 02 44	+42 14	2,1	K3 II	0,005	—11,7
α Ari	06 06	+23 22	2,0	K2 III	0,043	—14,3
β Tri	08 24	+34 54	3,0	H5 III	0,012	+15,2
α UMi A	12 42	+89 11	2,0 _v	F8 Ib	0,003	—17,4
σ Cet A	18 23	—03 04	2,0 _v	M5,5e	0,013	+63,8
γ Cet AB	42 19	+03 09	3,5	A2 V	0,048	—05,1
θ Eri AB	57 32	—40 23	2,9	A5 III	0,028	+11,9
α Cet	03 01 17	+04 01	2,5	M2 III	0,003	—25,9
γ Per	03 25	+53 26	2,9	G8III:+A3	0,011	+02,5
ϱ Per	03 57	+38 46	3,5 _v	M4 IIb—IIIa	0,008	+28,2
β Per	06 56	+40 53	2,1 _v	B8 V	0,031	+06,0
α Per	22 58	+49 48	1,8	F5 Ib	0,029	—02,4
δ Per	41 34	+47 44	3,0	B5 III	0,007	+02,8
η Tau	46 21	+24 03	+2,9	B7 III	0,005	+10,1

IX. Fényesebb csillagok

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° '	magn.		"	km/s
γ Hyi	03 47 31	—74 18	+3,3	M2	III	0,001 +16,0
ζ Per A	52 56	+31 50	2,8	B1	Ib	0,007 +20,6
ε Per A	56 34	+39 57	2,9	B0,5	V	0,001 —01,0
γ Eri	57 09	—13 34	3,0	M0	III	0,003 +61,7
α Ret A	04 14 11	—62 31	3,3	G9	III	0,008 +35,6
ε Tau	27 30	+19 08	3,5	K0	III	0,018 +38,6
θ^2 Tau	27 35	+15 50	3,4	A7	III	0,025 +39,5
α Dor	33 35	—55 05	3,3	A0	IIIp	0,011 +25,6
α Tau A	34 50	+16 28	0,9 _v	K5	III	0,048 +54,1
π^3 Ori	48 48	+06 56	3,2	F6	V	0,125 +24,3
ι Aur	55 45	+33 08	2,7	K3	II	0,015 +17,5
ε Aur	05 00 36	+43 48	3,0 _v	F0	Iap	0,004 —01,4
ε Lep	04 39	—22 24	3,2	K5	III	0,006 +01,0
η Aur	05 11	+41 13	3,2	B3	V	0,013 +07,4
β Eri	06 55	—05 07	2,8	A3	III	0,042 —08,0
μ Lep	12 05	—16 14	3,3	B9	IIIp	0,018 +27,7
β Ori A	13 37	—08 13	0,1 _v	B8	Ia	0,003 +20,7
α Aur	15 17	+45 59	0,1	G8III: + F		0,073 +30,2
η Ori AB	23 31	—02 25	3,3 _v	B0,5	V	0,004 +19,8
γ Ori	24 07	+06 20	1,6	B2	III	0,026 +18,2
β Tau	25 05	+28 35	1,7	B7	III	0,018 +08,0
β Lep A	27 26	—20 46	2,8	G5	III	0,014 —13,5
δ Ori A	31 02	—00 19	2,2 _v	O9,5	II	0,004 +22,0
α Lep	31 53	—17 50	2,6	F0	Ib	0,002 +24,7
λ Ori AB	34 05	+09 55	3,4	O8		0,006 +33,5
ι Ori AB	34 30	—05 55	2,8	O9	III	0,021 +27,6
ε Ori	35 15	—01 13	1,7	B0	Ia	0,007 +26,1
ζ Tau	36 31	+21 08	3,1	B2	III:p	0,002 +22,8
α Col A	38 58	—34 05	2,6	B8	Ve	0,005 +35,0
ζ Ori AB	39 48	—01 57	1,8	O9,5	Ib	0,022 +18,1
κ Ori	46 51	—09 41	2,1	B0,5	Ia	0,009 +20,6
β Col	50 17	—35 47	3,1	K2	III	0,023 +89,4
α Ori	54 09	+07 24	0,4	M2	Iab	0,005 +21,0
β Aur	58 08	+44 57	1,9	A2	V	0,037 —18,2
θ Aur AB	58 26	+37 13	+2,7 _v	B9,5pv		0,018 +29,3

katalógusa ($m \leq 3,5$)

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° '	magn.		"	km/s
η Gem A	06 13 44	+22 31	+3,3 _v	M3 III	0,013	+19,0
ζ CMa	19 35	-30 03	3,0	B2,5 V	0,003	+32,2
μ Gem	21 49	+22 31	2,9 _v	M3 III	0,021	+54,8
β CMa	21 52	-17 57	+2,0 _v	B1 II—III	0,014	+33,7
α Car	23 32	-52 41	-0,7	F0 Ib—II	0,018	+20,5
γ Gem	36 37	+16 25	+1,9	A0 IV	0,031	-12,5
ν Pup	37 11	-43 11	3,2	B7 III	—	+28,2
ϵ Gem	42 46	+25 09	3,0	G8 Ib	0,009	+09,9
ξ Gem	44 13	+12 55	+3,4	F5 IV	0,055	+25,3
α CMa A	44 19	-16 41	-1,5	A1 V	0,375	-07,6
α Pic	48 00	-61 55	+3,3	A7 Vm	—	+20,6
τ Pup	49 28	-50 36	2,9	K0 III	—	+36,4
ϵ CMa A	57 53	-28 57	1,5	B2 II	—	+27,4
σ^2 CMa	07 02 14	-23 48	3,0	B3 Ia	—	+48,4
δ CMa	07 37	-26 22	1,9	F8 Ia	0,018	+34,3
L_1 Pup	12 58	-44 36	3,5 _v	gM5e	0,016	+53,0
π Pup	16 28	-37 04	2,7	K4 III	0,023	+15,8
η CMa	23 21	-29 16	2,5	B5 Ia	—	+41,1
β CMi	26 07	+08 20	2,9	B7 V	0,020	+22,0
σ Pup A	28 38	-43 16	3,2	K5 III	0,013	+88,1
α Gem A	33 23	+31 56	2,0	A1 V	0,072	+06,0
α CMi A	38 18	+05 16	0,4	F5 IV—V	0,288	-03,2
β Gem	44 09	+28 04	1,2	K0 III	0,093	+03,3
ξ Pup	48 30	-24 49	3,3	G3 Ib	0,003	+02,7
χ Car	56 18	-52 56	3,5	B3 IVp	—	+19,1
ζ Pup	08 02 55	-39 57	2,2	O5f	—	-24,0
ϱ Pup	06 44	-24 15	2,8 _v	F6 IIp	0,031	+46,6
γ Vel A	08 57	-47 17	1,8	WC8	—	+35,0
ϵ Car	22 08	-59 27	1,9	K3:III+B2:V	—	+11,5
σ UMa A	28 42	+60 47	3,4	G5 IIIa	0,004	+19,8
δ Vel AB	44 11	-54 38	2,0	A0 V	0,043	+02,2
ϵ Hya ABC	45 46	+06 29	3,4	G1III+A8 V	0,010	+36,4
ζ Hya	54 23	+06 01	3,1	G9 II—III	0,029	+22,8
ι UMa A	57 55	+48 07	3,1	A7 IV	0,066	+12,2
λ Vel	09 07 18	-43 21	+2,2	K4 Ib—IIa	0,015	+18,4

IX. Fényesebb csillagok

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	°	magn.		"	km/s
α Car	09 10 28	—58 53	+3,4	B2	IV—V	— +23,3
β Car	13 00	—69 38	1,7	A1	III	0,038 —05,0
ι Car	16 35	—59 12	2,3	A9	Ib	— +13,3
α Lyn	19 54	+34 28	3,2	K7	IIlab	0,021 +37,6
κ Vel	21 32	—54 56	2,5	B2	IV—V	0,007 +21,9
α Hya	26 39	—08 35	2,0	K4 [*]	II—III	0,017 —04,3
N Vel	30 39	—56 57	3,2	K5	III	0,015 —13,9
θ UMa A	31 36	+51 46	3,1	F6	IV	0,052 +15,4
ϵ Leo	44 47	+23 52	3,0	G1	IIab	0,002 +05,0
γ Car AB	46 38	—64 59	3,0	A8	Ib	0,020 +13,6
α Leo A	10 07 22	+12 04	1,4	B7	V	0,039 +03,5
ω Car	13 17	—69 57	3,3	B8	III	— +04,0
ζ Leo	15 35	+23 31	3,5	F0	III	0,009 —15,0
λ UMa	15 57	+43 01	3,5	A2	IV	0,010 +18,3
η Car	16 27	—61 14	3,4 _v	K3	IIa	0,018 +08,6
χ Leo AB	18 56	+19 56	2,0	K0	IIIp	0,019 —36,6
μ UMa	21 12	+41 36	3,1	M0	III	0,031 —20,5
ρ Car	31 21	—61 35	3,3 _v	B4	Vne2	— +26,0
θ Car	42 17	—64 18	2,7	B0,5	Vp	— +24,0
μ Vel AB	45 57	—49 19	2,7	G5	IIIa	— +06,9
ν Hya	48 41	—16 06	3,1	K3	III	0,022 —01,0
β UMa	11 00 42	+56 29	2,4	A1	V	0,042 —12,0
α UMa AB	02 34	+61 51	1,8	K0	IIIa	0,031 —08,9
φ UMa	08 36	+44 36	3,0	K1	III	— —03,8
ϵ Leo	13 06	+20 38	2,6	A4	V	0,040 —20,6
θ Leo	13 15	+15 32	3,3	A2	V	0,019 +07,8
λ Cen	34 54	—62 55	3,2	B9	III	— —01,0
β Leo	48 05	+14 41	2,1	A3	V	0,076 —01,0
γ UMa	52 50	+53 48	2,4	A0	V	0,020 —12,9
δ Cen	12 07 22	—50 37	2,6 _v	B2	IV	— +09,0
ϵ Crv	09 09	—22 31	3,0	K3	III	— +04,9
δ Cru	14 08	—58 39	2,8 _v	B2	IV	— +26,4
σ UMa	14 29	+57 08	3,3	A3	V	0,052 —12,9
γ Crv	14 50	—17 26	2,6	B8	III	— —04,2
α Cru A	25 32	—63 00	+1,4	B0,5	IV	— —11,2

katalógusa ($m \leq 3,5$)

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	' "	magn.		"	km/s
δ Crv A	12 28 53	—16 25	+3,0	B9,5 V:n	0,018	+09,0
γ Cru	30 06	—57 00	1,7	M4 III	—	+21,3
β Crv	33 23	—23 18	2,7	G5 III	0,027	—07,7
α Mus	36 02	—69 02	2,7 _v	B2 IV—V	—	+10,0
γ Cen AB	40 28	—48 51	2,2	A0 IV	0,006	—07,5
γ Vir AB	40 42	— 1 21	2,8	F0 V	0,101	—19,7
β Mus AB	45 06	—68 00	3,1	B2 V	—	+42,0
β Cru	46 36	—59 35	1,3 _v	B0,5 III	—	+20,0
ε UMa	53 12	+56 04	1,8 _v	A0pv	0,008	—09,3
α CVn A	55 08	+38 25	2,9 _v	B9,5pv	0,023	—03,3
ε Vir	13 01 14	+11 04	2,8	G9 II—III	0,036	—14,0
γ Hya	17 53	—23 04	3,0	G8 III	0,021	—05,4
ι Cen	19 31	—36 37	2,8	A2 V	0,046	+00,1
ζ UMa A	23 10	+55 01	2,3	A2 V	0,037	—05,6
α Vir	24 11	—11 04	0,9 _v	B1 V	0,021	+01,0
ζ Vir	33 43	—00 30	3,4	A3 Vn	0,035	—13,2
ε Cen	38 41	—53 22	2,3 _v	B1 III	—	+05,6
η UMa	46 48	+49 24	1,9	B3 V	0,004	—10,9
ν Cen	48 22	—41 36	3,4	B2 IV	—	+09,0
μ Cen	48 28	—42 23	3,1 _v	B2 V:pne	—	+12,6
η Boo	53 47	+18 30	2,7	G0 IV	0,102	+01,0
ζ Cen	54 21	—47 12	2,6	B2,5 IV	—	+06,5
β Cen AB	14 02 28	—60 17	0,6 _v	B1 III	0,016	—12,0
π Hya	05 17	—26 35	3,3	K2 III	0,039	+27,2
θ Cen	05 34	—36 17	+2,0	K0 III—IV	0,059	+01,3
α Boo	14 48	+19 17	—0,1	K2 IIIp	0,090	—05,2
γ Boo	31 19	+38 23	+3,1	A7 III	0,016	—35,5
η Cen	34 18	—42 05	2,4 _v	B1,5 V:ne	—	—00,2
α Cen A	38 18	—60 45	0,0	G2 V	0,751	—24,6
α Lup	40 40	—47 18	2,3 _v	B1 V	—	+07,3
α Cir AB	40 57	—64 54	3,2	A8p	0,049	+07,4
ε Boo AB	44 09	+27 09	2,4	K1 III+A	0,013	—16,5
α Lib A	49 38	—15 55	2,8	A3m	0,049	—10,0
β UMi	50 45	+74 14	2,1	K4 III	0,031	+16,9
β Lup	57 17	—43 04	+2,7	B2 IV	—	—00,3

IX. Fényesebb csillagok

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° '	magn.		"	km/s
α Cen	14 57 55	—42 02	+ 3,2	B2 V	—	+09,1
β Boo	15 01 14	+40 28	3,5	G8 III	0,022	—19,9
σ Lib	02 57	—25 12	3,3	M4 III	0,056	—04,3
ζ Lup A	10 55	—52 02	3,4	K0 III	0,036	—09,7
δ Boo A	14 44	+33 23	3,5	G8 III	0,028	—12,2
β Lib	15 59	—09 19	2,6	B8 V	0,012	—35,2
γ TrA	17 07	—68 37	2,9	A0 IV	0,005	—06,0
δ Lup	20 07	—40 35	3,2 _v	B2 IV	—	+02,0
γ UMi	20 45	+71 54	3,0	A3 II—III	0,005	—03,9
ϵ Dra	24 30	+59 02	3,3	K2 III	0,032	—11,0
γ Lup AB	33 52	—41 06	2,8	B2 Vn	—	+06,0
α CrB	33 53	+26 47	2,2 _v	A0 V	0,043	+01,7
α Ser	43 20	+06 29	2,7	K2 III	0,046	+02,9
β TrA	53 27	—63 22	2,8	F0 IV	0,078	—00,3
π Sco	57 42	—26 04	2,9	B1 V	0,005	—03,0
η Lup AB	58 51	—38 21	3,4	B2 V	—	+07,0
δ Sco	59 12	—22 34	2,3	B0 V	—	—14,0
β Sco AB	16 04 20	—19 45	2,7	B0,5 V	0,004	—01,0
δ Oph	13 21	—03 39	2,7	M1 III	0,029	—19,9
ϵ Oph	17 19	—04 39	3,2	G9 III	0,036	—10,3
σ Sco A	20 02	—25 33	2,9 _v	B1 III	—	+02,5
η Dra A	23 44	+61 33	2,7	G8 III	0,043	—14,3
α Sco A	28 14	—26 23	0,9 _v	M1Ib+B	0,019	—03,2
β Her	29 24	+21 32	2,8	G8 III	0,017	—25,5
τ Sco	34 42	—28 11	2,9	B0 V	—	—00,7
ζ Oph	36 07	—10 32	2,6	O9,5 V	0,007	—19,0
ζ Her AB	40 34	+31 38	2,8	G0 IV	0,110	—69,9
η Her	42 15	+38 57	3,5	G7 III—IV	0,053	+08,3
α TrA	46 39	—69 00	1,9	K2 Ib	0,024	—03,6
ϵ Sco	48 56	—34 16	2,3	K2,5 III	0,049	—02,5
μ Sco	50 35	—38 01	3,0 _v	B1,5 V	—	—25,0
α Oph	56 46	+09 24	3,2	K2 III	0,026	—55,6
ζ Ara	57 03	—55 58	3,1	K4 III	0,036	—06,0
ζ Dra	17 08 44	+65 44	3,2	B6 III	0,017	—14,1
η Oph AB	09 17	—15 42	+2,4	A2,5 V	0,047	—00,9

katalógusa ($m \leq 3,5$)

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° ' "	magn.		"	km/s
η Sco	17 10 47	—43 13	+3,3	F2	III	0,063 —28,4
α Her AB	13 47	+14 25	3,1v	M5	II	0,007 —33,1
δ Her	14 15	+24 52	3,1	A3	IV	0,034 —41,0
π Her	14 23	+36 50	3,1	K3	II	0,020 —25,7
θ Oph	20 50	—24 59	3,3v	B2	IV	— —03,6
β Ara	23 43	—55 31	2,9	K1,5	Ib	0,026 —00,4
γ Ara A	23 47	—56 22	3,3	B1	Ib	— —04,0
ν Sco	29 28	—37 17	2,7	B2	IV	— +07,0
β Dra A	30 00	+52 19	2,8	G2	II	0,009 —20,0
α Ara	30 22	—49 52	3,0	B2,5	V	— —02,0
λ Sco	32 19	—37 05	1,6v	B1	V	— 00,0
α Oph	34 03	+12 34	2,1	A5	III	0,056 +12,7
θ Sco	35 57	—42 59	1,9	F0	Ib	0,020 +01,4
κ Sco	41 10	—39 01	2,4v	B1,5	III	— —10,0
β Oph	42 32	+04 34	2,8	K2	III	0,023 —12,0
μ Her A	45 43	+27 44	3,4	G5	IV	0,108 —15,6
ι Sco	46 15	—40 07	3,0	F2	Ia	0,013 —27,6
G Sco	48 34	—37 02	3,2	K2	III	0,032 +24,7
γ Dra	56 10	+51 29	2,2	K5	III	0,017 —27,6
ν Oph	57 59	—09 46	3,3	G9	III	0,015 +12,4
γ Sgr	18 04 35	—30 26	3,0	K0	III	0,018 +22,1
η Sgr A	16 20	—36 46	3,1	M3,5	III	0,038 +00,5
δ Sgr	19 47	—29 50	2,7	K2	III	0,039 —20,0
η Ser	20 20	—02 54	3,2	K0	III—IV	0,054 +08,9
ϵ Sgr	22 55	—34 24	1,8	B9,5	III	0,015 —11,0
λ Sgr	26 48	—25 26	2,8	K2	III	0,046 —43,3
α Lyr	36 18	+38 46	0,0	A0	V	0,123 —13,9
φ Sgr	44 28	—27 01	3,2	B8	III	— +21,5
β Lyr A	49 23	+33 20	3,4v	Bpe		0,011 —17,8
σ Sgr	54 05	—26 19	2,1	B2	V	— —11,0
ξ Sgr	56 36	—21 08	3,5	K1	III	0,006 —19,9
γ Lyr	58 14	+32 40	3,3	B9	III	0,011 —21,5
ζ Sgr AB	19 01 24	—29 55	2,6	A2	IV	0,020 +22,0
ζ Aql A	04 32	+13 50	3,0	A0	V n	0,036 —26,3
λ Aql	05 14	—04 55	+3,4	B9	V n	0,025 —14,0

IX. Fényesebb csillagok katalógusa ($m \leq 3,5$)

Név	RA	D	m	sp	p	Vrad.
	h m s	° '	magn.		"	km/s
τ Sgr	19 05 45	—27 45	+3,3	K1 III	0,038	+45,4
π Sgr ABC	08 38	—21 03	2,9	F2 II—III	0,016	—09,8
δ Dra	12 33	+67 38	3,1	G9 III	0,028	+24,8
δ Aql	24 32	+03 05	3,4	F0 IV	0,062	—29,9
β Cyg A	29 57	+27 55	3,1	K3 II+B	0,004	—24,0
δ Cyg AB	44 23	+45 05	2,9	B9,5 III	0,021	—21,0
γ Aql	45 21	+10 34	2,7	K3 II	0,006	—02,1
α Aql	49 51	+08 49	0,8	A7 IV—V	0,198	—26,3
θ Aql	20 10 19	—00 53	3,2	B9,5 III	0,008	—27,3
β Cap A	19 57	—14 51	3,1	gk0	0,005	—18,9
γ Cyg	21 33	+40 12	2,2	F8 Ib	0,006	—07,5
α Pav	24 09	—56 48	2,0	B2,5 V	—	+02,0
α Ind	36 14	—47 22	3,1	K0 III	0,039	—01,1
α Cyg	40 47	+45 13	1,3	A2 Ia	0,013	—04,6
β Pav	43 16	—66 16	3,5	A7 III	0,026	+09,8
η Cep	44 54	+61 46	3,4	K0 IV	0,071	—87,3
ε Cyg	45 26	+33 54	2,5	K0 III	0,044	—10,3
ζ Cyg	21 12 08	+30 09	3,2	G8 II	0,021	+17,4
α Cep	18 08	+62 30	2,4	A7 IV—V	0,063	—10,0
β Cep	28 25	+70 29	3,2 _v	B2 III	0,005	—03,1
β Aqr	30 34	—05 39	2,9	G0 Ib	0,000	+06,5
ε Peg A	43 15	+09 47	2,4	K2 Ib	0,005	+04,7
δ Cap	46 00	—16 13	2,9 _v	A6m	0,065	—00,2
γ Gru	52 47	—37 27	3,0	B8 III	0,008	—02,1
α Aqr	22 04 48	+00 25	2,9	G2 Ib	0,003	+07,5
α Gru	07 02	—47 03	1,8	B7 IV	0,051	+11,8
ζ Cep	10 12	+58 06	3,4	K1 Ib	0,019	—18,4
α Tuc	17 13	—60 21	2,9	K4 III	0,019	+42,2
ζ Peg	40 31	+10 44	3,4	B8 V	0,004	+07,0
β Gru	41 32	—46 59	2,2 _v	M5 III	0,003	+01,6
η Peg	42 07	+30 07	3,0	G8 II+F	0,002	+04,3
δ Aqr	53 39	—15 55	3,3	A3 V	0,039	+18,0
α PsA	56 36	—29 43	1,2	A3 V	0,144	+06,5
β Peg	23 02 51	+27 59	2,5 _v	M2 II—III	0,015	+08,7
α Peg	03 49	+15 06	2,5	B9,5 III	0,030	—03,5
γ Cep	38 33	+77 32	+3,2	K1 IV	0,064	—42,4

X. Nagy napkitörések (H α -flerek)*

Dátum	kezdet	tartam	McMath-szám	héliografikus koordináták		imp.	észl. obsz. száma
				B	Lcm		
	h m	m		.	.		
1974. IX. 10	21 21	134	13225	+08	—60	2B	4
13	15 10	172	13224	—14	—24	2B	7
1975. VIII. 22	05 09	31	13811	+27	+85	2B	6
XII. 5	07 40	68	13964	+06	+06	2B	2
1977. IX. 16	21 23	200	14943	+07	+20	2B	5
19	09 55E	132+	943	+08	+57	3B	4
XI. 22	09 45	83	15031	+24	+40	2B	4
XII. 10	03 01	61	15056	—27	—17	2N	4
1978. I. 8	02 06	75	15081	—20	+79	2N	4
II. 9	11 51	15	15139	+13	—33	2B	2
13	01 30	160	139	+15	+19	2N	4
17	01 37	16	139	+12	+80	2N	4
17	02 44	41	139	+16	+65	2B	3
21	22 50	38	15162	+37	—63	2N	3
27	02 26	154	15168	+27	—47	2N	2
III. 6	11 25	173	15172	+26	—20	2B	4
IV. 8	01 09	216	15214	+19	+11	2B	5
12	06 44E	46+	15221	+20	+65	2N	3
28	13 05	567	15266	+22	—38	3B	5
V. 30	06 30E	117+	15314	+16	+30	2B	5
31	10 06	227	314	+20	+43	3B	9
VI. 22	16 44	356	15368	+18	—18	2B	4
28	02 44	23	15375	—18	+18	2B	3
VII. 9	18 11	196	15403	+19	—68	2B	3
10	06 00	90	403	+18	—61	2B	7
10	16 55	71	403	+17	—54	2B	4
11	03 53	25+	403	+17	—51	2B	3
11	10 31	150	403	+18	—45	2B	11
11	21 59	81	403	+18	—38	2B	3
18	19 27	43+	403	+17	+52	2B	2
29	10 26	50	15443	+22	—72	2N	7
IX. 2	05 33	48	15509	—32	—43	2B	6
17	14 59	76	15543	+36	—23	2N	3
23	09 44	151	543	+35	+50	3B	5

* Az 1976. évi Csillagászati Évkönyv XV. táblázatának (63. oldal) folytatása

X. Nagy napkitörések (H_{α} -flerek)

Dátum	kezdet	tartam	McMath- szám	héliografikus koordináták		imp.	észl. obsz. száma		
				B	Lcm				
	h m	m		.	.				
1978.	IX. 24 27	06 23E	42+	543	+35	+62	2N	3	
		14 28	78	15551	+27	+19	2B	4	
	X. 1 13 16	06 53	118	15570	—13	—57	2N	9	
		12 33	77	15587	—18	+01	2N	10	
		00 27	42	15598	+28	—61	2N	4	
	XI. 10 28 29	00 57E	95+	15643	+17	—01	2N	4	
		05 11	95	15682	+14	—47	2N	5	
		05 05	68	682	+15	—38	2N	3	
	XII. 10 11 12 13 17 27 30	23 32	107	15697	—13	—29	2N	5	
		18 33	204	15694	—16	+50	2B	4	
		01 29	31	694	—18	+52	2N	4	
		03 40	162	697	—15	—01	2B	8	
		07 29	36	697	—15	+51	2N	6	
		16 26	98	15733	—13	—43	2B	3	
		05 41	71	15746	—20	—66	3B	4	
	1979.	I. 16 16	07 32	31	15754	+16	+46	2N	5
			21 40	104	754	+20	+54	2N	2
		II. 1 16 22	07 57	68	15800	—22	—57	2B	4
01 44			91	15830	+16	—59	3B	4	
11 19			98	15823	+25	+48	2N	2	
III. 1 11 26 31		09 55	100	15856	—23	—58	3B	4	
		10 35	40	856	—24	+76	2N	4	
		11 50	57	15887	+06	+78	2B	2	
		23 15	47	15918	—24	—19	2B	5	
IV. 6		09 00	43	15933	+23	—90	2B	3	
V. 2 3 22		16 51	68	15967	+20	+55	2B	3	
		01 20	70	15974	+10	+03	2N	4	
		11 10	85	16030	—21	—35	2N	7	
VI. 3 3 4 5 10 10 22		01 30	29	16051	+14	—50	2B	3	
		08 42	151	051	+18	—39	2N	5	
		03 40	90	051	+19	—30	2B	6	
		04 55	223	051	+17	—14	2B	13	
		06 40	19	051	+23	+57	2N	4	
		08 01	142	051	+22	+46	3B	7	
		04 46	44	16073	+24	+59	2N	3	

Kiegészítő tudnivalók a táblázatokhoz

(a táblázatokban nem közölt jelölések magyarázatai)

„RA” és „D”: az I., IV. és IVa. táblázatokban rektaszcenziót, ill. deklinációt jelent. A koordináták 1982-re vonatkoznak.

A „csillagidő” az I. táblázatban a greenwichi meridiánra, azaz a zéró földrajzi hosszúságra vonatkozik.

„m”: a IV. és IVa. táblázatokban magnitúdókban megadott vizuális, látószólagos fényességeket jelent.

„cs. e.”: alatt a IV. és IVa. táblázat „r” oszlopában a bolygók geocentrikus távolságai szerepelnek, csillagászati egységben.

IX. táblázat: a koordináták 1981-ra vonatkoznak.

Az „sp” oszlopban a kétdimenziós színképosztályozást közöljük a Harvard- és a Morgan—Keenan-féle klasszifikáció alapján.

„v_{rad.}” radiális sebességet jelent.

X. táblázat: az 1976. évi Csillagászati Évkönyvben közölt XV. táblázat (63. oldal) folytatása. A táblázat mindazon H γ -flerészleléseket tartalmazza, melyeket az észlelő obszervatóriumok legalább fele legalább 2-es jelentőségűnek észlelt, s legalább két helyen történt észlelés.

Az „imp.” oszlopban a flerek jelentőségét közöljük. Ennek osztályozása a fler maximális területi kiterjedése alapján történik: ha ez a terület a napkorongénak legalább 0,0005-szöröse, akkor 2-es, míg ha legalább 0,0012-szerese, akkor 3-as flerről beszélünk. Az ezen számok mellett álló N, illetve B betűk rendre az átlagos, illetve az annál fényesebb flerekre utalnak.

A „kezdet” rovatban a jelenség kezdetének időpontja található, világidőben. Ha a fler kezdetét nem sikerült észlelni, erre E betű hívja fel a figyelmet, s ekkor az időadat az első észlelés időpontját jelenti.

A „tartam” rovatban az adat mellett álló + jel arra hívja fel a figyelmet, hogy fler elejét vagy végét nem sikerült észlelni.

A „McMath-szám” alatt a szoláris aktív vidékek nyilvántartási sorszámai állnak, melyeket a McMath—Hulbert Obszervatóriumban vezettek be.

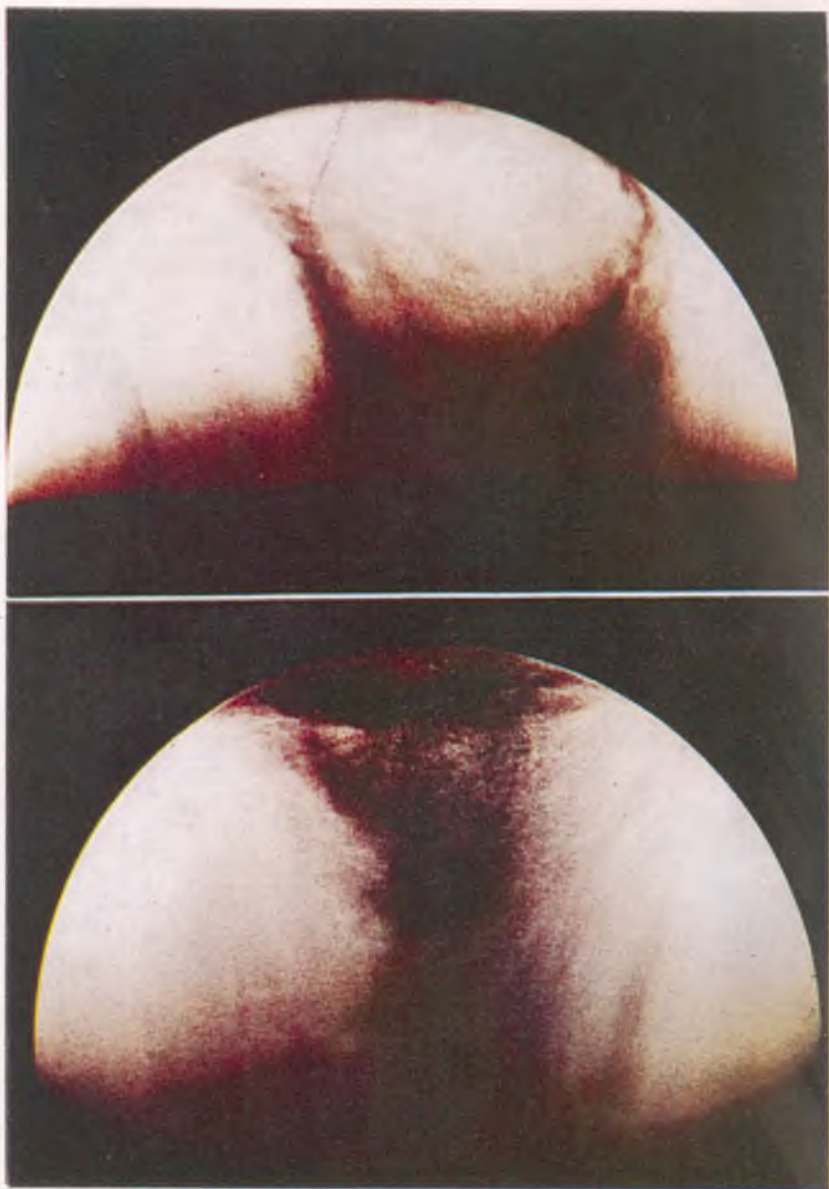
A „héliografikus koordináták” közül a B szélességet jelöl, míg L_{cm} alatt a centrálmeridiántól számított hosszúságkülönbség található: a negatív előjel a keleti, a pozitív a nyugati oldalt jelenti. (A Nap keletről nyugatra forog.)

FIGYELEM!

A nyári időszámítás tartama alatt a táblázatok közép-európai zónaidőben megadott időadatait +1 órával korrigálni kell!



I. tábla. A Vénusz felszínének számítógéppel előállított térképe, amely a Pioneer-Venus-1 radaradati alapján készült. A bolygó nagy síkságának a térképen a kék színű felettették meg („tengerszín”), az ettől mélyebb területek lilák, míg a magasabbak a zöldön, sárgán és a vörösen át a rózsaszínig változnak. (NASA)



II. tábla. A Pioneer-Venus—1 fotopolarimétere készítette ezt a felvételt a Vénusz felhőzetéről, kb. 60 000 km-es magasságból. Jól megfigyelhető a bolygó felhőzetének fekvő Y alakú szerkezete. (NASA)



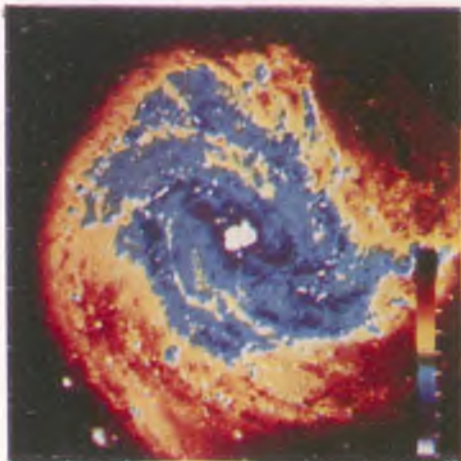
III/1.tábla. Abu Szimbel: II. Ramszesz sziklatemploma. A 3200 éves templomot UNESCO együttműködés keretében darabokra szedve eredeti helyétől, a Nilus partjától 330 méterrel beljebb szállították, és itt újra összerakták. A templom így kb. 65 méterrel magasabbra került, mint eredetileg volt.

III/2.tábla Chitzchen Itza. A rajz az épületet képzeletben helyreállítva mutatja

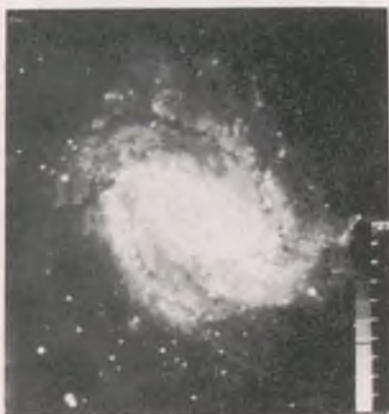
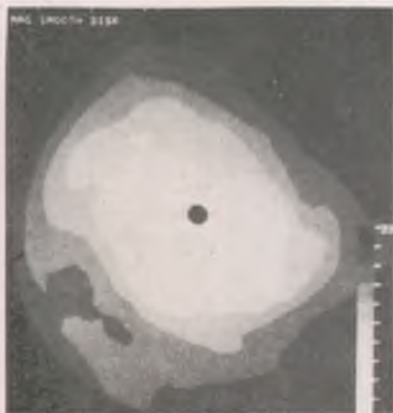




VI/1. tábla. A Rák-köd szinkódolt röntgenképe (Courtesy of Drs. F. R. Harnden, Jr. and H. Tananbaum of the Harvard /Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Mass.)



IV/2. tábla. Az M83 galaxis kék tartományban készült képének szinkódolt változata



V/1. tábla. Az M83 galaxisról készített felvétel feldolgozás előtt és után

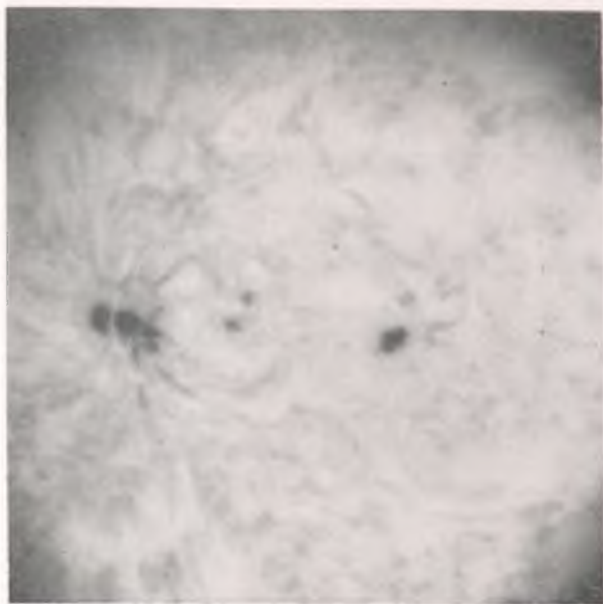
V/2. tábla. Az Optronics Colormation-rendszer





VI. tábla A Nap
kromoszférájának
szerkezete egy nap-
foltcsoport felett.
Felvételi időpont:
1980. szeptember 4.
a) $14^h 16^m 47^s$, b) 14^h
 $17^m 04^s$, c) $14^h 17^m$
 27^s (Az MTA Nap-
fizikai Observatóri-
uma észlelési anya-
gából)

Az a) kép a H-alfa
szinképvonalban
(656,3 nm),



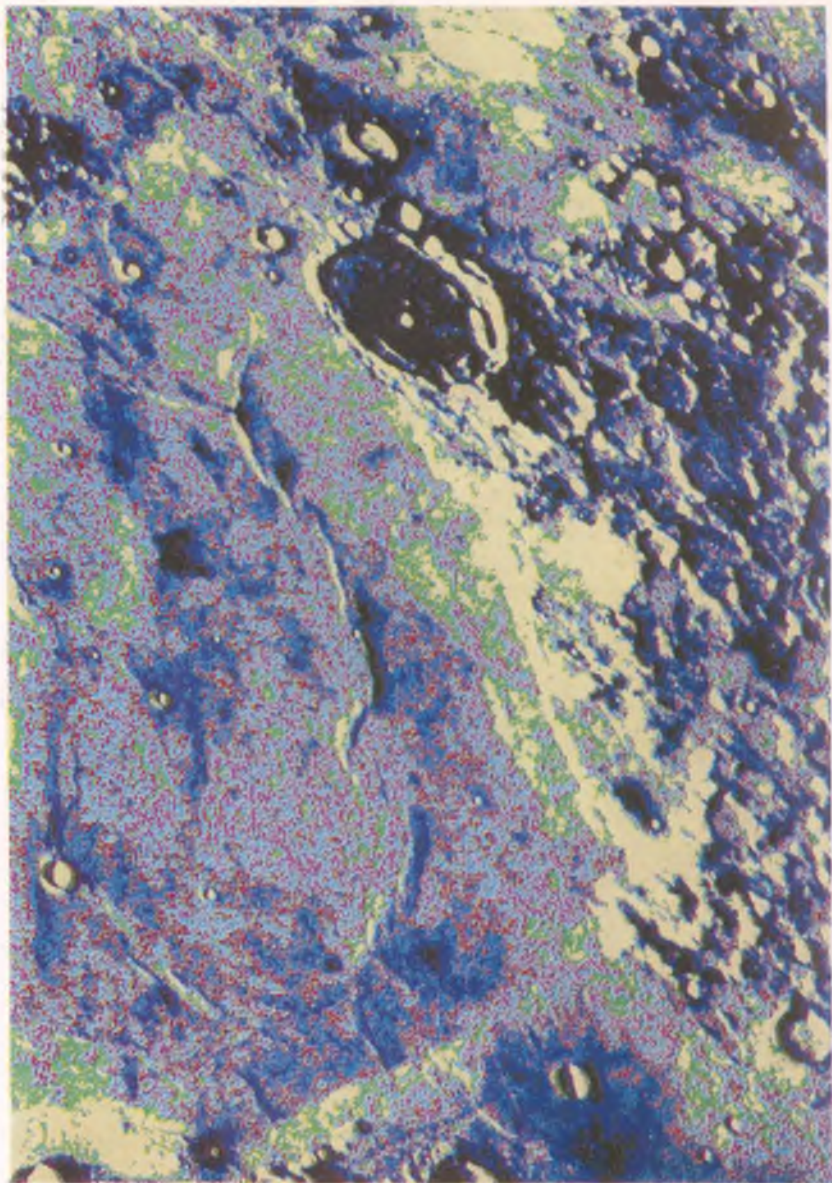
a b) kép 0,05 nm-rel
nagyobb,

a c) kép 0,05 nm-rel
kisebb hullámhossz-
szon készült.



VII/2. tábla Kro-
moszféra-szinkom-
pozit a VI. tábla fel-
vételeiből. A kép a
Colormationon az
alábbi szűrő-hozzá-
rendeléssel készült:
a) zöld, b) vörös,
c) kék





VIII. tábla A 13. ábrán (295. oldal) látható kép nyolc szintes, hisztogramegalizálással készült feldolgozása. A szinkódolás a felszíni fényességre vonatkozik

A CSILLAGOS ÉG 1982-ben (Időpontok KözEI-ben*)

Január

Bolygók

Merkúr: 22-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez. 4-ig a Nyilas, 4-től 24-ig a Bak, utána a Vízöntő csillagképben tartózkodik. A hó közepén másfél órával nyugszik a Nap után. A hó második harmadában figyelhető meg, napnyugta után, a délnyugati égbolton. 16-án legnagyobb keleti kitérésben, 19° távolságra a Naptól. 16-án fázisa 0,59, fényessége $-0,4$ magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: hátráló mozgást végez 23-ig a Bak, utána a Nyilas csillagképben. A hó elején két és fél, közepén egy órával nyugszik a Nap után. A hó első felében figyelhető meg, napnyugta után mint alkonyecsillag, a délnyugati égbolton. 21-én alsó együttállásban a Nappal. 4-én fázisa 0,09, fényessége $-4,1$ magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Mars: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfél előtt kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Jupiter: előretartó mozgást végez 5-ig a Sziíz, utána a Mérleg csillagképben. Éjfél után kel, és a hajnali délkeleti égbolton figyelhető meg.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjféltkor kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: előretartó mozgást végez 17-ig a Kígyótartó, utána a Nyilas csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
1	02,5	<i>Algol</i> minimumban
3	—	<i>Quadrantidák</i> meteorraj gyakorisági maximuma; kékes fényűek, kis fényességűek gyakoribbak.
3	23,3	<i>Algol</i> minimumban

* A nyári időszámítás tartama alatt az időpontokhoz 1 órát hozzá kell adni!

6	20,2	<i>Algol</i> minimumban
9	15	<i>Merkúr</i> 5°-kal délre a Vénusztól
9	17,0	<i>Algol</i> minimumban
9	—	<i>Teljes holdfogyatkozás</i> , tőlünk is látható. Belépés a félárnyékba: 18 ó 14,8 p; belépés a teljes árnyékba: 19 ó 13,6 p; teljes fogyatkozás kezdete: 20 ó 16,6 p; legnagyobb fázis: 20 ó 55,9 p; teljes fogyatkozás vége: 21 ó 35,1 p; kilépés a teljes árnyékból: 22 ó 38,2 p; kilépés a félárnyékból: 23 ó 37,0 p. A fogyatkozás nagysága holdátmérebben kifejezve: 1,34.
16	14	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
17	21	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
21	04,2	<i>Algol</i> minimumban
22	00	<i>Neptunusz</i> 1°-kal délre a Holdtól
24	01,1	<i>Algol</i> minimumban
25	05	<i>Részleges napfogyatkozás</i> , tőlünk nem látható, az Antarktiszról és környékéről figyelhető meg.
26	21,9	<i>Algol</i> minimumban
29	18,7	<i>Algol</i> minimumban

Február

Bolygók

Merkúr: 12-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez. 4-ig a Vízöntő, utána a Bak csillagképben tartózkodik. A hó elejét kivéve, egy órával kel a Nap előtt, és a hó végéig figyelhető meg, a hajnali délkeleti égbolton, napkelte előtt. 1-én alsó együttállásban a Nappal. 26-án legnagyobb nyugati kitérésben, 27° távolságra a Naptól. 17-én fázisa 0,39, fényessége +0,6 magnitúdó, mindkettő növekedő.

Vénusz: 10-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Nyilas csillagképben. A hó elején egy, a végén két órával kel a Nap előtt. Mint hajnalcsillag figyelhető meg, a hó elején napkelte előtt, a hó végén a hajnali szürkületben, a délkeleti égbolton. 25-én éri el legnagyobb fényességét (—4,3 magnitúdó), fázisa ugyanekkor 0,26, növekedő.

Mars: 21-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A késő esti órákban kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Jupiter: 24-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Mérleg csillagképben. Éjfélkor kel, és a hajnali délkeleti égbolton figyelhető meg.

Szaturnusz: 1-től hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A késő esti órákban kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: előretartó mozgást végez a Nyilas csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
12	17	<i>Mars</i> 2°-kal délre a Holdtól
12	23	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
14	10	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
15	23,6	<i>Algol</i> minimumban
18	20,4	<i>Algol</i> minimumban
20	17	<i>Vénusz</i> 7°-kal északra a Holdtól
21	16	<i>Merkúr</i> 2°-kal északra a Holdtól
21	17,2	<i>Algol</i> minimumban

Március

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 11-ig a Bak, 11-től 29-ig a Vízöntő, utána a Halak csillagképben. A hó első napjaiban még háromnegyed órával kel a Nap előtt, és közvetlenül napkelte előtt kereshető meg a délkeleti égbolton. 1-én fázisa 0,62, fényessége +0,3 magnitúdó, mindkettő növekedő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 3-ig a Nyilas, utána a Bak csillagképben. Két órával kel a Nap előtt, és mint hajnalszárny látható a hajnali szürkületben, a délkeleti égbolton. 17-én fázisa 0,40, növekedő; fényessége —4,2 magnitúdó, csökkenő.

Mars: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A hó elején a kora esti órákban kel, a végén az egész éjszaka folyamán megfigyelhető. 31-én szembenállásban a Nappal. Átmérője a hó eleji 12,3"-ról, a hó végén 13,5"-re nő, alkalmat adva felületének megfigyelésére. Ugyanakkor fényessége —0,5 magnitúdóról —1,2 magnitúdóra növekszik.

Jupiter: hátráló mozgást végez a Mérleg csillagképben. A késő esti órákban kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Szaturnusz: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A kora esti órákban kel, és az egész éjszaka folyamán megfigyelhető.

Uránusz: 9-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Skorpió csillagképben. Éjfél után kel, és a hajnali délkeleti égbolton kereshető meg. *Neptunusz:* 29-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Nyilas csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
10	22,1	<i>Algol</i> minimumban
11	23	<i>Mars</i> 2°-kal délre a Holdtól
12	06	<i>Szturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
13	18	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
13	18,9	<i>Algol</i> minimumban
15	20	<i>Uránusz</i> 4°-kal délre a Holdtól
17	19	<i>Neptunusz</i> 0,8°-kal délre a Holdtól
21	15	<i>Vénusz</i> 5°-kal északra a Holdtól
24	02	<i>Merkúr</i> 2°-kal északra a Holdtól
25	—	<i>Hydridák</i> meteorraj (március 21-től április 4-ig) gyakorisági maximuma.

Április

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 16-ig a Halak, 16-tól 27-ig a Kos, utána a Bika csillagképben. A hó végén másfél órával nyugszik a Nap után, és a hó utolsó napjaiban figyelhető meg a nyugati égbolton, az esti szürkületben. 30-án fázisa 0,64, fényessége —0,4 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 4-ig a Bak, 4-től 28-ig a Vízöntő, utána a Halak csillagképben. Másfél órával kel a Nap előtt, és mint hajnalszárny látható a reggeli szürkületben, a délkeleti égbolton. 1-én legnagyobb nyugati kitérésben, 46° távolságra a Naptól. 14-én fázisa 0,56, növekedő; fényessége —3,9 magnitúdó, csökkenő.

Mars: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. Az egész éjszaka folyamán megfigyelhető. Múlt havi szembenállása után, 5-én kerül földközelségbe, 95 millió km-re a Földtől. Bár ez — távolság szempontjából — a kedvezőtlen oppozíciók közé tartozik, a bolygó égi egyenlítő környéki pozíciója kedvez megfigyelésére. A hó elején átmérője 14,7", fényessége —1,2 magnitúdó; a hó végén ugyanezek 13,5"-re és —0,7 magnitúdóra csökkennek.

Jupiter: hátráló mozgást végez 11-ig a Mérleg, utána a Szűz csillagkép-

ben. A hó elején a kora esti órákban kel, a hó végén már az egész éjszaka folyamán megfigyelhető. 26-án szembenállásban a Nappal.

Szaturnusz: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. Az egész éjszaka folyamán megfigyelhető. 9-én szembenállásban a Nappal.

Uránusz: hátráló mozgást végez a Skorpió csillagképben. Éjfélkor kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg. 30-án az ω_1 és ω_2 Scorpii közt látható.

Neptunusz: hátráló mozgást végez a Nyilas csillagképben. Éjfélkor kel, és a hajnali órákban, a délkeleti égbolton újra megkereshető.

Jelenségek

Nap	Óra	
2	20,7	<i>Algol</i> minimumban
3	—	<i>Virginidák</i> meteorraj (március 21-től május 10-ig) gyakorisági maximuma.
7	14	<i>Mars</i> 2°-kal délre a Holdtól
8	11	<i>Szaturnusz</i> 2°-kal délre a Holdtól
9	02,2	<i>Algol</i> minimumban
9	22	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
12	03	<i>Uránusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
14	03	<i>Neptunusz</i> 0,5°-kal délre a Holdtól
20	07	<i>Vénusz</i> 4°-kal északra a Holdtól
21	—	<i>Lyridák</i> meteorraj (április 19-től 24-ig) gyakorisági maximuma. Fényesek.
25	19,2	<i>Algol</i> minimumban

Május

Bolygók

Merkúr: 21-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Bika csillagképben. E hó folyamán kerül ez évben megfigyelésére legkedvezőbb helyzetbe. A hó elején egy, a közepén két órával nyugszik a Nap után. A hó utolsó napjait kivéve az egész hó folyamán megfigyelhető a dél-nyugati égbolton, az esti szürkületben. 9-én legnagyobb keleti kitérésben, 21° távolságra a Naptól. 12-én fázisa 0,29, fényessége +0,9 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez a Halak csillagképben, 10-től 13-ig a Cet csillagképet érintve. Másfél órával kel a Nap előtt, és mint hajnalcsillag látható a reggeli szürkületben, a keleti égbolton. 16-án fázisa 0,69, növekedő, fényessége —3,6 magnitúdó, csökkenő.

Mars: 13-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. A hajnali órákban nyugszik, és az egész éjszaka folyamán megfigyelhető.

Jupiter: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. Az egész éjszaka folyamán megfigyelhető.

Szaturnusz: hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A hajnali órákban nyugszik, és az egész éjszaka folyamán megfigyelhető.

Uránusz: hátráló mozgást végez a Skorpió csillagképben. 24-én szembenállásban a Nappal. Az egész éjszaka folyamán megfigyelhető. Az egész hó folyamán könnyen megkereshető: az ω_1 és ω_2 Scorpii kettőssel egy kis háromszöget képez. Az ω_1 , ω_2 és az Uránusz fényességei: 4,1, 4,6, illetve 5,8 magnitúdó.

Neptunusz: hátráló mozgást végez a Nyilas csillagképben. Éjfél előtt kel, és az éjszaka második felében figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
4	—	η Aquaridák meteorraj (április 22-től május 12-ig) gyakorisági maximuma. Maradandó nyommal.
4	06	<i>Mars</i> 3°-kal délre a Holdtól
5	14	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
6	22	<i>Jupiter</i> 2°-kal délre a Holdtól
9	08	<i>Uránusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
11	09	<i>Neptunusz</i> 0,4°-kal délre a Holdtól
20	03	<i>Vénusz</i> 4°-kal északra a Holdtól
24	14	<i>Merkúr</i> 2°-kal északra a Holdtól
31	15	<i>Mars</i> 5°-kal délre a Holdtól

Június

Bolygók

Merkúr: 13-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Bika csillagképben. A hó utolsó napjaiban egy órával kel a Nap előtt, és a hajnali keleti égbolton figyelhető meg, napkelte előtt. 1-én alsó együttállásban a Nappal. 26-án legnagyobb nyugati kitérésben, 22° távolságra a Naptól. 29-én fázisa 0,42, fényessége +0,5 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 1-től 19-ig a Kos, utána a Bika csillagképben. A hó elején másfél, végén két órával kel a Nap előtt. Mint hajnal-

csillag figyelhető meg a reggeli szürkületben, a keleti égbolton. 17-én fázisa 0,79, növekedő, fényessége —3,4 magnitúdó, csökkenő.

Mars: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfélkor nyugszik, és az éjszaka első felében figyelhető meg.

Jupiter: 28-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfél után nyugszik, és az éjszaka első felében figyelhető meg.

Szaturnusz: 19-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfél után nyugszik, és az éjszaka első felében figyelhető meg.

Uránusz: hátráló mozgást végez a Skorpió csillagképben. Hajnalban nyugszik, és az éjszaka első felében figyelhető meg.

Neptunusz: hátráló mozgást végez 20-ig a Nyilas, utána a Kígyótartó csillagképben. 17-én szembenállásban a Nappal. Az egész éjszaka folyamán megfigyelhető.

Jelenségek

Nap	Óra	
1	17	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
2	22	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
5	12	<i>Uránusz</i> 4°-kal délre a Holdtól
7	14	<i>Neptunusz</i> 0,4°-kal délre a Holdtól
14	—	<i>Scorpius—Sagittaridák</i> meteorraj (április 20-tól július 30-ig) gyakorisági maximuma.
16	—	<i>Lyridák</i> meteorraj (június 10-től 21-ig) gyakorisági maximuma. Kékes meteorok, halvány nyommal.
19	02	<i>Vénusz</i> 2°-kal északra a Holdtól
20	03	<i>Merkúr</i> 1°-kal délre a Holdtól
21	13	<i>Részleges napfogyatkozás</i> , tőlünk nem látható. Dél-Afrikából és az Atlanti-óceán déli részéről figyelhető meg.
22	03,6	<i>Algol</i> minimumban
25	00,4	<i>Algol</i> minimumban
28	13	<i>Mars</i> 6°-kal délre a Holdtól
28	22	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
30	02	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól

Július

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 9-ig a Bika, 9-től 23-ig az Ikrek, utána a Rák csillagképben. A hó első felében egy órával kel a Nap előtt, és a hajnali keleti égbolton figyelhető meg, napkelte előtt. 25-én felső együttállásban a Nappal. 7-én fázisa 0,64, fényessége $-0,3$ magnitúdó, mindkettő növekedő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 20-ig a Bika, utána az Ikrek csillagképben. Két órával kel a Nap előtt, és mint hajnalcsillag látható a reggeli szürkületben, a keleti égbolton. 15-én fázisa 0,87, növekedő; fényessége $-3,3$ magnitúdó, csökkenő.

Mars: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. A késő esti órákban nyugszik, és a kora esti órákban még megfigyelhető. 22-én másfél fokkal a Spica felett látható.

Jupiter: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfél előtt nyugszik, és az esti órákban figyelhető meg.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Éjfél előtt nyugszik, és az esti órákban még megfigyelhető.

Uránusz: hátráló mozgást végez a Skorpió csillagképben. Éjfélnélkor nyugszik, és az esti órákban még megfigyelhető.

Neptunusz: hátráló mozgást végez a Kígyótartó csillagképben. A hajnali órákban nyugszik, és az éjszaka első felében figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
2	16	<i>Uránusz</i> 4° -kal délre a Holdtól
4	18	<i>Neptunusz</i> $0,4^{\circ}$ -kal délre a Holdtól
6	08	<i>Teljes holdfogyatkozás</i> , tőlünk nem látható.
10	01	<i>Mars</i> 3° -kal délre a Szaturnusztól
15	02,1	<i>Algol</i> minimumban
17	22,9	<i>Algol</i> minimumban
18	20	<i>Vénusz</i> $0,7^{\circ}$ -kal északra a Holdtól
20	20	<i>Részleges napfogyatkozás</i> , tőlünk nem látható. A fogyatkozás a Pireneusi-félsziget és Franciaország északi részéről, Észak-Európából, Szibéria északi részeiről, Grönlandból és az Északi-Jeges-tenger vidékeiről látható.
26	08	<i>Szaturnusz</i> 4° -kal délre a Holdtól
26	23	<i>Mars</i> 6° -kal délre a Holdtól

27	12	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
28	—	δ <i>Aquaridák</i> meteorraj (július 15-től augusztus 15-ig) gyakorisági maximuma. Kettős radiánssal.
29	22	<i>Uránusz</i> 4°-kal délre a Holdtól
31	23	<i>Neptunusz</i> 0,6°-kal északra a Holdtól

Augusztus

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 2-ig a Rák, 2-től 23-ig az Oroszlán, utána a Szűz csillagképben. A hó folyamán háromnegyed órával nyugszik a Nap után, és napnyugta után kísérelhető meg felkeresése, a nyugati látóhatár közelében. 16-án fázisa 0,81, fényessége —0,2 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 12-ig az Ikrek, 12-től 28-ig a Rák, utána az Oroszlán csillagképben. Két órával kel a Nap előtt, és mint hajnalcillag figyelhető meg a reggeli szürkületben, a keleti égbolton. 16-án fázisa 0,93, növekedő; fényessége —3,3 magnitúdó, alsó forduló-pontban.

Mars: előretartó mozgást végez 16-ig a Szűz, utána a Mérleg csillagképben. Az esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megkereshető a nyugati égbolton.

Jupiter: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Az esti órákban nyugszik, és a kora esti órákban még megfigyelhető a délnyugati égbolton.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Az esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megfigyelhető a délnyugati égbolton.

Uránusz: 9-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. Az esti órákban nyugszik, és a kora esti órákban még megfigyelhető a délnyugati égbolton.

Neptunusz: hátráló mozgást végez a Kígyótartó csillagképben. Éjfélkor nyugszik, és a kora esti órákban még megfigyelhető.

Jelenségek

Nap	Óra	
1	—	<i>Capricornidák</i> meteorraj (július 15-től augusztus 20-ig) gyakorisági maximuma. Sárga tűzgömbökkel.
4	03,8	<i>Algol</i> minimumban

6	—	<i>Aquaridák</i> meteorraj (július 15-től augusztus 25-ig) gyakorisági maximuma. Kettős rádiánssal.
7	00,6	<i>Algol</i> minimumban
9	21,4	<i>Algol</i> minimumban
10	02	<i>Mars</i> 2°-kal délre a Jupitertől
12	—	<i>Perseidák</i> meteorraj (július 25-től augusztus 18-ig) gyakorisági maximuma. Fényes széttöredező meteorok halvány nyommal.
17	16	<i>Vénusz</i> 1°-kal délre a Holdtól
20	—	<i>♌ Cygnidák</i> meteorraj (augusztus 11-től 21-ig) gyakorisági maximuma. Robbanó tűzgömbökkel.
20	16	<i>Merkúr</i> 5°-kal délre a Holdtól
22	21	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
24	02	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
24	16	<i>Mars</i> 6°-kal délre a Holdtól
26	05	<i>Uránusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
27	02,4	<i>Algol</i> minimumban
28	06	<i>Neptunusz</i> 0,4°-kal délre a Holdtól
29	23,2	<i>Algol</i> minimumban

Szeptember

Bolygók

Merkúr: 19-ig előretartó, utána hátráló mozgást végez a Szűz csillagképben. A hó első napjaiban háromnegyed órával nyugszik a Nap után. E hó folyamán nem kerül megfigyelésre kedvező helyzetbe. 1-én fázisa 0,63, fényessége +0,3 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 26-ig az Oroszlán, utána a Szűz csillagképben. A hó elején másfél, a végén egy órával kel a Nap előtt. Napkelte előtt figyelhető meg mint hajnalcillag, a keleti égbolton. 5-én fázisa 0,96, fényessége —3,4 magnitúdó, mindkettő növekedő.

Mars: előretartó mozgást végez 17-ig a Mérleg, utána a Skorpió csillagképben. A kora esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megkereshető a délnyugati égbolton.

Jupiter: előretartó mozgást végez 4-ig a Szűz, utána a Mérleg csillagképben. A kora esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megkereshető a délnyugati égbolton.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: 5-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Kígyótartó csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
12	—	<i>Piscidák</i> meteorraj (augusztus 16-tól október 8-ig) gyakorisági maximuma.
16	04,1	<i>Algol</i> minimumban
16	12	<i>Vénusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
18	23	<i>Merkúr</i> 10°-kal délre a Holdtól
19	00,9	<i>Algol</i> minimumban
19	11	<i>Szturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
20	20	<i>Jupiter</i> 4°-kal délre a Holdtól
21	21,7	<i>Algol</i> minimumban
22	14	<i>Mars</i> 1°-kal délre az Uránusztól
22	15	<i>Uránusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
22	15	<i>Mars</i> 5°-kal délre a Holdtól
24	14	<i>Neptunusz</i> 0,2°-kal északra a Holdtól
24	18,5	<i>Algol</i> minimumban

Október

Bolygók

Merkúr: 10-ig hátráló, utána előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. A hó utolsó kétharmadában figyelhető meg. A hó közepén másfél órával kel a Nap előtt, és hajnali szürkületben, a délkeleti égbolton látható. 17-én legnagyobb nyugati kitérésben, 18° távolságra a Naptól. 23-án fázisa 0,74, fényessége —0,7 magnitúdó, mindkettő növekedő.

Vénusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Mars: előretartó mozgást végez 1-től 25-ig a Kígyótartó, utána a Nyilas csillagképben. A kora esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megkereshető a délnyugati égbolton.

Jupiter: előretartó mozgást végez a Mérleg csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Szturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: előretartó mozgást végez a Kígyótartó csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
9	02,6	<i>Algol</i> minimumban
11	23,4	<i>Algol</i> minimumban
14	20,2	<i>Algol</i> minimumban
15	12	<i>Merkúr</i> 4°-kal délre a Holdtól
17	17,1	<i>Algol</i> minimumban
18	16	<i>Jupiter</i> 3°-kal délre a Holdtól
20	02	<i>Mars</i> 3°-kal délre a Holdtól
21	—	<i>Orionidák</i> meteorraj (október 16-tól 24-ig) gyakorisági maximuma. Többszörös radiánssal, marandó nyommal.
21	18	<i>Mars</i> 3°-kal délre a Holdtól
21	23	<i>Neptunusz</i> 0,2°-kal északra a Holdtól
25	07	<i>Mars</i> 3°-kal délre a Neptunusztól
29	04,3	<i>Algol</i> minimumban

November

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 7-ig a Szűz, 7-től 21-ig a Mérleg, 21-től 26-ig a Skorpió, utána a Kígyótartó csillagképben. A hó első napjaiban egy órával kel a Nap előtt, és még látható napkelte előtt, a keleti égbolton. 19-én felső együttállásban a Nappal. 1-én fázisa 0,92, fényessége —0,8 magnitúdó, mindkettő növekedő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 1-től 20-ig a Mérleg, 20-tól 24-ig a Skorpió, utána a Kígyótartó csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg. 2-án felső együttállásban a Nappal.

Mars: előretartó mozgást végez a Nyilas csillagképben. A kora esti órákban nyugszik, és az esti szürkület folyamán még megfigyelhető, a délnyugati égbolton.

Jupiter: előretartó mozgást végez a Mérleg csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg. 13-án együttállásban a Nappal.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: előretartó mozgást végez 17-ig a Kígyótartó, utána a Nyilas csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
1	01,3	<i>Algol</i> minimumban
1	07	<i>Merkúr</i> 0,7°-kal délre a Szaturnusztól
3	21,9	<i>Algol</i> minimumban
6	18,8	<i>Algol</i> minimumban
9	—	<i>Tauridák</i> meteorraj (október 18-tól november 30-ig) gyakorisági maximuma. Kettős radiánssal, gyakori tűzgömbökkel.
13	16	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
17	—	<i>Leonidák</i> meteorraj (november 15-től 19-ig) gyakorisági maximuma. Fényesek, maradandó nyommal.
19	22	<i>Mars</i> 0,6°-kal délre a Holdtól
21	02,1	<i>Algol</i> minimumban
23	23,7	<i>Algol</i> minimumban
26	20,5	<i>Algol</i> minimumban
29	17,3	<i>Algol</i> minimumban

December

Bolygók

Merkúr: előretartó mozgást végez 8-ig a Kígyótartó, utána a Nyilas csillagképben, mely utóbbiból 31-én a Bak csillagképbe lép át. A hó utolsó napjaiban másfél órával kel a Nap előtt, és napnyugta után figyelhető meg, a délnyugati égbolton. 30-án legnagyobb keleti kitérésben, 20° távolságra a Naptól. 30-án fázisa 0,63, fényessége —0,4 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Vénusz: előretartó mozgást végez 9-ig a Kígyótartó, utána a Nyilas csillagképben. A hó utolsó napján egy órával nyugszik a Nap után, és újra megkereshető mint alkonyicsillag az esti szürkületben, a délnyugati

égbolton. 31-én fázisa 0,97, fényessége —3,4 magnitúdó, mindkettő csökkenő.

Mars: előretartó mozgást végez 8-ig a Nyilas, utána a Bak csillagképben. A kora esti órákban nyugszik, és az esti szürkületben még megfigyelhető, a délnyugati égbolton.

Jupiter: előretartó mozgást végez a Mérleg csillagképben. Egy órával kel a Nap előtt, és újra megfigyelhető a hajnali szürkületben.

Szaturnusz: előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Az éjfélt utáni órákban kel, és a hajnali szürkületben újra megfigyelhető, a délkeleti égbolton.

Uránusz: előretartó mozgást végez a Skorpió csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Neptunusz: előretartó mozgást végez a Nyilas csillagképben. E hó folyamán a Nap közelsége miatt nem figyelhető meg.

Jelenségek

Nap	Óra	
11	03	<i>Szaturnusz</i> 3°-kal délre a Holdtól
11	04,6	<i>Algol</i> minimumban
13	06	<i>Jupiter</i> 3°-kal délre a Holdtól
14	—	<i>Geminidák</i> meteorraj (december 7-től 15-ig) gyakorisági maximuma. Gyakran tűzgömbökkel, sok teleszkopikus meteorral.
14	01,4	<i>Algol</i> minimumban
15	—	<i>Részleges napfogyatkozás</i> , tőlünk is látható. A részleges fogyatkozás Európából, Afrika északi részeiről és Ázsia nyugati részéről figyelhető meg.
16	19	<i>Merkúr</i> 2°-kal délre a Holdtól
16	22,2	<i>Algol</i> minimumban
19	02	<i>Mars</i> 2°-kal északra a Holdtól
19	19,0	<i>Algol</i> minimumban
22	—	<i>Ursidák</i> meteorraj (december 17-től 24-ig) gyakorisági maximuma.
22	15,8	<i>Algol</i> minimumban
30	12	<i>Teljes holdfogyatkozás</i> , tőlünk nem látható.

G. I.

Az 1982. december 15-i napfogyatkozás magyarországi adatai

Állomáshely		az első kontak- tus időpontja és pozíciószőge			a legnagyobb fázis időpontja és nagysága			az utolsó kon- taktus időpont- ja és pozíció- szőge		
		h	m	°	h	m	°	h	m	°
Sopron	(1)	8	23,5	319,7	9	38,6	0,460	11	00,3	75,5
Szombathely	(2)	8	23,5	320,2	9	38,1	0,454	11	00,0	75,2
Tihany	(3)	8	23,9	319,7	9	39,7	0,461	11	02,7	75,5
Baja	(4)	8	24,3	319,9	9	40,7	0,460	11	04,8	75,5
Budapest	(5)	8	24,3	318,1	9	41,5	0,479	11	05,7	76,4
Penc	(6)	8	24,6	317,7	9	41,5	0,485	11	06,6	76,7
Piszkés-tető	(7)	8	24,9	317,2	9	43,4	0,492	11	08,1	77,1
Miskolc	(8)	8	25,3	316,4	9	43,4	0,501	11	10,0	77,5
Gyula	(9)	8	25,5	317,7	9	44,4	0,488	11	10,6	76,7
Debrecen	(10)	8	25,8	316,4	9	45,5	0,504	11	11,9	77,5

A pozíciószőg a napkorong É-i pontjától K—D—Ny irányban számítandó, a fogyatkozás nagysága napátmérőben értendő.

- (1) MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet
- (2) ELTE Gothard Obszervatórium
- (3) A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet földmágneses obszer-
vatóriuma
- (4) MTA Csillagvizsgáló Intézet obszervatóriuma
- (5) MTA Csillagvizsgáló Intézet, Szabadság-hegy
- (6) Kozmikus Geodéziai Obszervatórium
- (7) MTA Csillagvizsgáló Intézet Obszervatóriuma
- (8) Uránia
- (9) MTA Napfizikai Obszervatórium megfigyelőállomása
- (10) MTA Napfizikai Obszervatórium

A magyarországi megfigyelőhelyek részletes adatai az 1974-es Csillagászati Évkönyv 66. oldalán találhatók, melyekhez kiegészítésként az alábbiakban közöljük a penzi KGO adatait:

Földrajzi hosszúság: K 19° 16' 53,794"

Földrajzi szélesség: É 47° 47' 22,848"

Tengerszint feletti magasság 315,47 m

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
CSILLAGVIZSGÁLÓ INTÉZETÉNEK
MŰKÖDÉSE 1980-BAN

Műszaki fejlesztés és karbantartás

A fotoelektromos fotometriai megfigyelések pontosságának növelése szükségessé tette, hogy egy kétsatornás fotométert fejlesszünk ki. Az ennek elkészítésével kapcsolatos munkák jelentősen előrehaladtak.

A KFKI-val közösen megoldottuk az RCC-teleszkóp TPA/i számítógépe és az 50 cm-es teleszkóp mikroprocesszora közötti on-line kapcsolatot. Ez lehetővé teszi az ICC-ről is a disc elérését és a kész programok azonnali felhasználását, illetve a gyorsfotometriai mérések során kapott nagy tömegű adat tárolását.

A piszkés-tetői obszervatóriumban az időalap frekvenciastabilitását növeltük az akkumulátorfeszültség hosszú idejű stabilitásának növelésével. Egy 10^{-8} stabilitású DC—DC konverter megépítésével és üzembeállításával az Rb standard frekvenciastabilitása $\Delta f/f < 5 \cdot 10^{-12}$. Munkák folytak az időjelek további vevőfokozatain is. Rendszeresen elvégeztük az időalap összehasonlító méréseit az OMH-val. A bajai obszervatórium időszolgálatának kiépítését tovább folytattuk, s várhatóan 1981-ben elkészülünk vele.

A Piszkés-tetőn elkészült a tűzjelző berendezés, és megkezdődött a tűzivízhálózat műszaki átvétele.

A Schmidt-teleszkóp kupolájának felújítási terve elkészült. A teleszkóp tükrét 1980 nyarán a jénai Zeiss-művekben újra alumíniumoztattuk.

A bajai obszervatórium új műszerét, a digit-vizuális távcsövet (DVT) tovább teszteltük. Olyan pontossággal határoztuk meg a műszerállandóit, hogy a pozíciómérések pontossága nem rosszabb $0,01''$ -nál.

Tudományos munkák és eredmények

Változócsillagok

A 10 napnál hosszabb periódusú *cefeidák* megfigyelésének befejezésével lezártuk a cefeidák periódusváltozásának vizsgálatára indított programunkat. Több mint 100 cefeidáról közel 3000 megfigyelést végeztünk az elmúlt tíz esztendő alatt. Több érdekes eredményünkről már korábban beszámoltunk, itt csupán néhány újabbról teszünk említést. A kettős rendszerekben található hosszú periódusú cefeidáknál is sikerült több esetben (YZ Aur, SV Per, AN Aur) a periódus visszaugrását kimutatni. Ugyancsak több hosszú periódusú cefeidánál látszik a kettős rendszerbeli keringés hatása az O—C diagramjukon. Az RW Cam pályaperiódusa az O—C diagram alapján 6600 nap. Folytattuk az S Vul szemiregurális csillagnak osztályozott változó megfigyelését. Az észlelésekből kitűnt, hogy az Svul cefeida, melynek periódusa erősen változik. Jelenleg a periódus egy újabb növekedése figyelhető meg.

Az *FG Sge* pekuliáris változócsillag újabb megfigyelései egyértelműen mutatják, hogy periódusa, mely korábban rohamosan növekedett, 1980-ban csökkenni kezdett. Korábbi fotometriai és spektroszkópiai viselkedését is elemeztük, s fejlődésével kapcsolatban több érdekes következtetésre jutottunk.

Az *RR Lyrae* változók vizsgálata során a legérdekesebb eredményt az RS Bootis-ra kaptuk. A sokéves saját megfigyelésből az 533 napos Blazsko-cikluson belül egy 62 napos rövidebb ciklust is sikerült kimutatnunk. Az RR Lyrae csillagok periódusváltozásainak tanulmányozásához további UBV-felvételeket készítettünk az M5 és M15 gömbhalmazokról az 1 m-es távcsővel.

Lezártuk az YZ Boo, XX Cyg és DY Her *törpe cefeidák* periódusváltozásainak vizsgálatát. Az XX Cyg, amely sok rokon vonást mutat a CY Aqr-val, az elmúlt 70 év alatt egyszer ugrásszerűen változtatta periódusát, amely 1946-ban $7,5 \cdot 10^{-3}$ s-mal megnőtt. A fénygörbe kisebb instabilitásokat mutat, ami tipikus a II. populációs változókra. Az YZ Boo és DY Her periódusa lassan, folyamatosan változik. Az YZ Boo periódusa $0,24 \cdot 10^{-3}$ s/év ütemben növekszik, míg a DY Her periódusa $0,85 \cdot 10^{-3}$ s/év rátával csökken. Vizsgálataink szerint a törpe cefeidák periódusváltozásait kielégítő módon lehet értelmezni a csillag központi részét körülvevő szemikonvekciós tartományban lejátszódó keveredési effektusokkal.

Elvégeztük a BN Cnc δ *Scuti* típusú változócsillag Fourier-analizisét 1979-es és 1980-as megfigyeléseinkre támaszkodva. A kapott frekvenciák közül legalább 6 szignifikánsnak, s a legjelentősebb frekvencia-komponensek igen stabilisaknak mutatkoztak. A frekvenciaspektrum

és az egyes komponensekhez tartozó pulzációs konstansok alapján nagyon valószínű nemradiális módusok jelenléte is.

Az ultrarövid periódusú AM CVn *fehér törpe* változócsillag 1980-ban kapott fotoelektromos fénygörbéit analizáltuk. Az újonnan kapott minimumok alapján a kérdéses időszakban a csillag periódusa $1051,19 \pm 0,01$ s volt. 0,002—0,04 Hz között nem találtuk semmiféle nyilvánvaló jelét koherens oszcilláció jelenlétének 0,001 magnitúdós amplitúdó felett.

A szokványos Fourier-módszer alapján történő frekvenciameghatározás hibájának analizisét végeztük el. Csak ekvidisztans adatokat véve alapul, becslést adtunk a zajmentes jel analizise alapján kapott frekvenciák hibájára, ha a jel kettőnél nem több közeli frekvenciájú rezgést tartalmaz csak. Eredményeink fontos következményeként levezettük a zaj miatt bekövetkező frekvenciaeltolódás valószínűség-eloszlás függvényét, ha a jel nem tartalmaz közeli frekvenciájú rezgéseket. Eredményeink a gyakorlatban előforduló jelek széles osztályára alkalmazhatók.

A *foltos csillagok* vizsgálata során kimutattuk, hogy a Gliese 83,3 vörös törpe változócsillag. Fényváltozásának amplitúdója kb. 0,1 magnitúdó, mind a *V*, mind pedig a *B* színekben, periódusa 2,825 nap. Érdekes, hogy Bopp úgy véli, a csillag a katalógusbeli adattal (dK5) ellentétben nem törpe, hanem MIII típusú óriás, ezért a rövid periódusú fényváltozás nehezen magyarázható.

A Gliese 148-ról megállapítottuk, hogy fényességét 1,559 napos periódussal változtatja. 1980-ban a fényváltozás megszűnt. Ez a viselkedés jellemző a BY Dra típusú változócsillagokra. Szintén új eredmény, hogy a HK Lac közepes fényességének csökkenése megállt, majd a folyamat megfordult, a csillag átlagfényessége növekedni kezdett.

Tovább folytattuk az *SV Cam fedési kettős* fénygörbeváltozásainak vizsgálatát. Az aktivitási ciklus lefolyására nagy vonalakban sikerült fényt deríteni. A migrációs hullám amplitúdója fokozatosan csökken, amíg végül teljesen eltűnik. A csillagpár életének a nyugalmi, foltmentes szakasza hirtelen szakad meg. Gázáramok jelennek meg, egyidejűleg fellép az új migrációs hullám is, úgy, hogy kezdetben a foltok a másodkomponensnek a főkomponenssel ellentétes oldalán vannak. Mindhárom színben sikerült szignifikáns flereket is kimutatni. Ezek analizise azt mutatja, hogy a flerek a foltcsoport vándorlási irányát tekintve azok mögött, a foltos és foltmentes terület határa közelében keletkeznek. Ugyancsak a fedési kettős program részeként meghatároztuk számos változó periódusú fedési kettős minimumának időpontját.

Elkezdtük a 14 magnitúdónál fényesebb *T Tauri csillagok* szisztematikus fotoelektromos fotometriáját. Az 1 m-es távcsővel több felvételt készítettünk az M33 jelű galaxisban található Y Tri változócsillagról, és az Ma 358 aktív magú galaxisról.

A Schmidt-teleszkóppal 406 felvétel készült, az alábbi megoszlásban:

Szupernóvák keresése	202
UBV-fotometria	147
5°-os prizmával színeképfelvétel	12
Flercsillagok kutatása	14 (81 expozíció)
Egyéb felvételek	31

Elkezdjük a Taurus T3 és Perseus OB 2 *asszociációk* észlelését, valamint az IC 1396 *nyílthalmaz* térségében található késői típusú óriáscsillagok fotoelektromos fotometriáját. Az NGC 7160 *nyílthalmaz*t tartalmazó 5° átmérőjű terület 1700 csillagának fotografikus UBV-fotometriáját befejeztük.

A korábban nyert fotometriai anyag alapján tanulmányoztuk az NGC 2420 öreg *nyílthalmaz* luminozitási függvényét. A vizsgálat során kiderült, hogy a halmazhoz tartozás szokásos (fotometriai és kinematikai) kritériumait kielégítő csillagokon túlmenően a halmazhoz olyan csillagok is hozzátartoznak, amelyek csak a központhoz való koncentrálódás révén ismerhetők fel. Ezek a csillagok megnövelik a halmaztagok számát, és megváltoztatják a luminozitási függvény alakját.

Befejeztük az IC 4665-ös halmaz körüli területen klasszifikált csillagok fotografikus fotometriáját. Ugyanezen a területen elkezdtük a késői színeképtípusú csillagok fotoelektromos fotometriáját. Elkezdtük az NGC 7686-os halmaz körüli vidék csillagainak spektráلكlasszifikálását.

A *flercsillag-kutatási programunk* keretében rendszeresen észleltük a Praesepe és Coma *nyílthalmazokat*. A Plejádokban nyert észlelési anyag alapján 7 új flercsillagot találtunk, és több ismételt fellobbanást rögzítettünk.

Feldolgoztuk a Schmidt-távcsővel az erős molekuláris rádióemissziót mutató sötét porködökről objektívprizmával készült észlelési anyagot, melynek során 135, zömmel eddig még nem ismert *H-alfa emissziós objektumot* találtunk.

A Schmidt-teleszkóppal tovább folytattuk az égbolt galaxisokban gazdag vidékeinek észlelését, és az 1980. február 21-én és 22-én készült felvételeken az $\alpha = 12^h 17^m 9$, $\delta = +31^\circ 27'$, valamint az $\alpha = 11^h 17^m 0$, $\delta = +54^\circ 44'$ és az $\alpha = 13^h 43^m 4$, $\delta = +48^\circ 00'$ koordinátájú anonim galaxisokban egy-egy *szupernóvát* találtunk. Ezekkel 35-re nőtt az intézetünkben fölfedezett szupernóvák száma.

A szupernóva-program egyik fölvételén üstököst is találtunk, mely fölfedezőjéről a Comet Lovas (= 1980 s) elnevezést kapta. Az üstökös 1980. szeptember 3-án volt perihéliumban, ekkor 1,67 cs. e.-re volt a Naptól. Az üstökös külön érdekessége, hogy periodikus, periódusa 9,067 év, pályájának fél nagytengelye 4,35 cs. e.

A beszámolási időszakban is elláttuk az *Atmoszféra-program* koordinációs munkáit, s folytattuk a mesterséges holdak rendszeres vizuális és fotografikus észlelését. A fotografikus felvételek feldolgozásánál néha fellépő, bizonyos értéknél nagyobb hibák automatikus kiszűrésére javasoltunk egy kombinált, geometriai és numerikus integrálási eljáráson alapuló módszert. Ennek kipróbálására az IKI-ben lefuttattak 474 fotografikus felvételt. Megkezdjük a kapott eredmények elemzését.

A *skálamagasság időbeni változásaira* vonatkozó vizsgálataink keretében részletesen elemeztük a H napszakos változását, az ún. napnyugta-effektust, valamint a változások korrelációját a geomágneses aktivitással. A napszakos effektus kapcsán tapasztalt nagyfokú változások indokolták, hogy megkíséréljük kiterjeszteni vizsgálatainkat a H gradiensének vizsgálatára, melyet a megfelelő H értékekből számítottunk ki. A számításokat a 340 km-es magasságra végeztük. A kapott másfél éves időintervallumot átfogó sorozatot az idő függvényében ábrázolva igen érdekes görbét kaptunk. Ennek középértéke megfelel az elméletileg számítottnak, de sokkal részletesebben mutatja a gradiens napszakos menetét. Maximális értéket találunk 17—20 óra helyi idő táján, másodlagos maximum jelentkezik 3—4 óra helyi időkor, és a görbe főminimuma 10—14 óra helyi idő táján található. Mindez összhangban van azokkal a megállapításokkal, amelyeket a hőmérséklet napszakos változásával kapcsolatban már korábban tettünk, pl. az éjszakai másodlagos hőmérsékleti maximum létezésére vonatkozóan. Kimutattuk azt is, hogy a sűrűségi skálamagasság, amelyet számításainkból nyerünk, 2%-nál kisebb hibával átszámítható nyomási skálamagassággá, és így lehetővé teszi felhasználását a szokásos aeronomiai összefüggésekben.

A *mesterséges holdak élettartamának vizsgálatában* sikerült kiválasztanunk a legjobb eredményt adó formulákat, és azok felhasználásával elemeztük egyes pályaelemek és légköri paraméterek hatását a hold élettartamára. Azonos típusú holdakat véve a megfigyelt pályaadatok szép egyezést mutatnak az elméleti görbékkel.

A *légköri statisztikai vizsgálatok* céljára 60 műhold fékezési adataiból kiszámított 52 000 sűrűségi adatát (azokat naptevékenységi és egyéb paraméterekkel kiegészítve) vittük fel számítógép mágneslemezére. Elkezdjük a 27 napos és 11 éves effektusok statisztikai vizsgálatát. Hasonlóan, a geomágneses effektus további tanulmányozásához folytattuk az anyaggyűjtést és feldolgozást a D -értékek meghatározása céljából. Így akarjuk biztosítani, hogy statisztikai vizsgálatainknál meglegyen a különféle paraméterek szerinti egyenletes lefedés.

A *kétszeresen közepelt korlátozott háromtest problémával* kapcsolatban levezetett analitikus eredményeknek a numerikus integrálás útján ka-

pott eredményekkel való összehasonlítása során a Vicia kisbolygó esetében észrevettük, hogy a periódusok között mintegy 8%-os eltérés mutatkozik. Az ezt követő analitikus vizsgálatok eredménye szerint ezt az eltérést másodrendű szekuláris perturbációk okozzák. Kimutattuk, hogy a három legnagyobb amplitúdójú periodikus tag az első közelítésben kapott szekuláris zavargás 6%-át kitevő szekuláris perturbációt okoz. Ily módon az eltérés kb. 2%-ra csökkent, ami valószínűleg további másodrendű perturbációkkal magyarázható. A vizsgálatokban kifejlesztett matematikai formalizmussal kifejeztük a Gauss módszere szerinti elsőrendű perturbációkat is egy konvergens végtelen sor alakjában. Megoldásunk egyszerűbb az eddig ismerteknél.

Egyéb munkák

A *nemszimmetrikus magnetohidrodinamikai dinamóelmélet* továbbfejlesztése sikerrel járt. A korábbi években kapott elméleti eredményeket közvetlen összhangba sikerült hozni a Nap fotoszférikus mágneses észleléseivel, és sor kerülhetett a Nap-dinamó teljes paraméterrendszerének számítástechnikai előkészítésére. Ez a legegyszerűbb modellizált esetben is egy 56 ismeretlent tartalmazó másodfokú rendszer megoldását jelenti. A dipólus tag esetében sikerült analitikus eljárást találni. A dipólus momentuma — a várakozásnak megfelelően — a napszél erősödésével csökkent.

Tovább folytattuk a Debye-leárnýékolás hatásának vizsgálatát a hidrogén színképében. Új megoldási módszert sikerült kidolgozni a *negatív hidrogénion* és általában a *hélium típusú ionok* Schrödinger-egyenletének megoldására. Eredményeink bepillantást engednek abba a kérdésbe, hogy miként módosíthatja a hidrogén színképét a nemhomogén elektromos mikrotér.

Az előző években kidolgozott *mértékelméleti megalapozású kozmológiai modelles család* elemzése során sikerült beigazolni, hogy a Dirac-féle kozmológiában közvetlen összefüggés áll fenn a mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás és a galaxishalmazok látszólagos instabilitása között. A galaxishalmazok létrejöttét és stabilizálódását a nemzérus nyugalmi tömegű neutrínófelhő háttérsugárzása teszi lehetővé. Összefüggést sikerült levezetnünk a halmazok mért fejlődése és a kozmikus neutrínóeloszlás között.

A *Phobosz felszíni barázdáinak* eredetére vonatkozó vizsgálatokat végeztünk a Viking űrszondák által készített felvételek alapján. Ismeretes, hogy a barázdákat általában három morfológiai rendszerbe sorolják, és létrejöttüket egy meteorbecsapódás következményeivel magyarázzák. Szerintünk azonban a párhuzamos barázdákból álló, és legnagyobb számosságot mutató harmadik rendszer nem egyéb, mint a holdacska ré-

teges belső szerkezetének felszíni megjelenési formája, amely analízisünk szerint globális rendszert alkot.

Kőkori és rézkori temetők sírjainak orientációját vizsgálva arra a megállapításra jutottunk, hogy az irányítottágeloszlás-görbe alakja erősen függ a temetkezés helyének földrajzi szélességétől, amit csak olyan temetkezési szokással lehet magyarázni, hogy a sírok irányát a temetkezés napján a pillanatnyi napkelte iránya tűzte ki. Ez kapcsolatban lehet az akkori idők napkultuszával.

**Nemzetközi kapcsolataink,
kutatóink oktató és népszerűsítő tevékenysége,
részvételük a tudományos közéletben**

Kutatóink több hazai és külföldi rendezvényen vettek részt. „A Csillagok fizikája és fejlődése” multilaterális együttműködés probléma-bizottsága NDK-ban szervezett ülésén és konferenciáján (Burg, 1980. május) Jankovics, Kanyó, Szeidl és Virághalmy vettek részt. A Kettőscsillagok (5.) Albizottság szimpozionján (Csehszlovákia, Skalnaté Pleso, 1980. április) Kovács és Patkós képviselték intézetünket. Az NDK tavaszi iskoláján (Binz, 1980. március) Jankovics és Szabados meghívott előadóként, Oláh Katalin pedig vendégként vett részt. A multilaterális együttműködés szimpozionján (Szovjetunió, Baku, 1980. október) intézetünkől Jankovics, Paparó Margit és Szabados voltak jelen. A Bulgáriában tartott Interkozmosz-tanácskozáson (1980. június) Both, Horváth és Veres vettek részt. Paál az NDK-ban és Lengyelországban (1980. július) relativitáselméleti, illetve kozmológiai szimpozionon, Csada pedig az NDK-ban (1980. augusztus) és Hollandiában (1980. október) napfizikai konferencián vett részt. A Belgiumban rendezett IAU Európai Regionális Találkozó (Liège, 1980. július) Balázs L. és Kun Mária képviselték intézetünket. Az akadémiák közötti együttműködések keretében Patkós és Virághalmy a Bjurakáni Asztrofizikai Intézetben (Szovjetunió, 1980. szeptember — október) 1—1 hónapot, Illés Erzsébet az Asztroszovjetben (Moszkva, 1980. december) 2 hetet, Szeidl a Heluáni Asztrofizikai Intézetnél (EAK, 1980. október — november) 2 hetet töltött. Kovács és Veres 4—4 hónapos állami ösztöndíjjal a varsói Copernicus Centerben, illetve Moszkvában, a Lomonoszov Egyetemen dolgoztak. Veres további két alkalommal is járt a Szovjetunióban, ahol sikerrel megvédte kandidátusi disszertációját. Rupp Erzsébet közel egy hónapot töltött Dubnában az OAB kiküldetésében. Horváth kétszer járt a Szovjetunióban, hogy Farkas Bertalan űrrepüléséről szakszerű tájékoztatást és elemzést kaphassunk. Útjait a Magyar Televízió szervezte.

Kutatóink rendszeres előadói voltak a magyarországi nemzetközi rendezvényeknek és a hazai szemináriumoknak. Ezek közül a jelentősebbek: Cospas-kongresszus (1980. június 2—13), Interkozmosz tanácskozás (június 16—20), EGS-szimpozion (augusztus), a MTESZ—KASZ Földfotó Ankétja (Penc, április 22—23), Ionoszféra-magnetoszféra Fizikai Szeminárium (Debrecen, november 18—21) voltak.

Ismét számos külföldi kutatót fogadtunk, akik közül többen hosszabb ideig dolgoztak intézetünkben. 1980 folyamán S. M. Fall (Anglia), J. Sahade (Argentina), H. M. Maitzen (Ausztria), M. Tsvetkov, K. P. Tsvetkova és P. P. Hrisztov (Bulgária), S. Pintér, J. Polous, P. Polechova és B. Valnicek (Csehszlovákia), A. S. Asaad, M. Fahim, Y. E. Helali és F. Mahmoud (Egyiptom), E. Danezis (Görögország), P. A. Wayman (Írország), J. L. Climenhaga (Kanada), Wu Jian, Li Cun-qing, Hao Fu-zhen és Fu Zhi-liang (Kína), K. Borkowski, R. Juskiewicz, J. Mikolajewska, M. Mikolajewski és A. Woszczyk (Lengyelország), S. Rössiger (NDK), E. Müller (Svájc), A. B. Hatem (Szíria), A. Chernin, O. Dokucsajeva, A. G. Doroskevics, P. E. Eljaszberg, T. V. Kaszimenko, N. D. Melikjan, A. E. Piskunov, S. K. Tatevjan, S. Zaracjan és Ja. B. Zeldovics (Szovjetunió) és C. Pilcher (USA) látogatták meg intézetünket. Többen közülük előadást is tartottak az intézeti szemináriumon.

Balázs L., Barcza, Szabados és Ill rendszeresen előadást tartottak az ELTE-n, illetve a JATE-n. Szinte valamennyi kutató tagja a TIT-nek, s aktív népszerűsítő munkát végeztek 1980-ban.

Kutatóink fontosabb közleményei

- Balázs B.* (T.: *Ruprecht, J. and White, R. E.*): „Supplement 1 to the Second Edition of the Catalogue of Star Clusters and Associations”; Proc. IAU Symp. No. 85 on Star Clusters, Reidel, Dordrecht, 1980. pp 137—138.
- Balázs L.*: „A csillagászat legújabb eredményei”; Csillagászati Évkönyv 1981., 121—129. old.
- Barcza Sz.*: „Restricted Quantum-Mechanical Three-Body Problems II. A General Theory of the Helium Like Ions”; Astrophysics and Space Science 72. 497—507.
- Barlai K.*: „Röntgensugárzás gömbhalmazokban”; Csillagászati Évkönyv 1981., 130—152. old.
- Csada I.*: „A nemszimmetrikus szoláris dinamó elmélete és problémái”; Asztronautikai Közlemények 1980. 49—55., old.
- Horváth A.*: „Iszpolzovanyije opticeszskih nabljugenyij Szputnyikov Interkozmosz dlja ocenki i povisenyija tocsnosztyi navigacionnoj

- privjazki"; Obrabotka informacij polucsajemih po programme Interkoszmosz, Izd. Nauka, Moszkva, 1980.
- Illés E.*: „Gyűrűk a bolygók körül”; Csillagászati Évkönyv, 1981. 153—182. old.
- Illés E. és Horváth A.*: „Réteges szerkezetű a Phobosz?” I. Planetológiai szeminárium anyaga, MTESZ—KASZ, 1980.
- Jankovics I. (T.: Kelemen J., Tsvetkov, M. K. and Tsvetkova, K. P.)*: „Flare star observations in the NGC 7000 and IC 5070 region in 1977—1979”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1746.
- Jankovics I. (T.: Melikjan, N. D., Tsvetkova, K. P. and Tsvetkov, M. K.)*: „The first flare star in the region near γ Cygni”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1750.
- Jankovics I. (T.: Melikjan, N. D. and Tsvetkov, M. K.)*: „Three new flare stars”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1779.
- Jankovics I. (T.: Kelemen J. and Tsvetkov, M. K.)*: „Flare star observations in the Pleiades Region in 1979” Inf. Bull. Var. Stars No. 1790.
- Kanyó S.*: „Shorter secondary variation of RS Bootis”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1832.
- Kovács G.*: „Period analysis at high noise level”; Astrophysics and Space Sciences 69, 485—493.
- Lovas M.*: „Supernovae in Anonym Galaxies”; IAU. Circ. No. 3456.
- Lovas M.*: „Comet Lovas 1980 s”; IAU Circ, No. 3547.
- Oláh K.*: „Variability of the red dwarf star Gliese 83,3”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1765.
- Oláh K. (T.: Melkonian, A. S., Oskanian, A. V. and Oskanian, V. S.)*: „Flare activity of BY Dra”; Astrofizika 16., 107.
- Oláh K. (T.: Melkonian, A. S., Oskanian, A. V. and Oskanian, V. S.)*: „Photoelectric observations of BY Dra”; Proc. Symp. on Flare Stars, FU Ori and Herbig-Haro Objects, Byurakan, 1980, pp 13—14.
- Paál Gy.*: „On the Gauge function for the scale-covariant theory of gravitation”; General Relativity 9. Contributed Papers, vol. 12. p. 510 (ed. E. Schmutzer)
- Paál Gy.*: „Relakszirujsesie szkoplennyja v evoljucionirujusesej Vsze-lennoj”; Kozmologija, lyeorija i nabljugyenyija (ed. Ja. B. Zel-dovics i. J. D. Novikov), 1978. p. 325.
- Patkós L.*: „Kölcsönható kettőscsillagok”; Csillagászati Évkönyv, 1981. 266—280. old.
- Szabados L.*: „Photoelectric UBV-photometry of northern Cepheids, II.”; Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 76.
- Szabados L. (T.: Mahmoud, F.)*: „New period increase in the Cepheid S Vul”; Inf. Bull. Var. Stars No. 1895.

- Szeidl B. (T.: Mahdy, H. A.):* „Period changes of dwarf Cepheids, II. YZ Boo, XX Cyg and DY Her”; Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 75.
- Veres F.:* „Kacsesztvennij analiz ploszkoj uszregynyonnoj organyicsennoj zadacsi trjoh tyel”; Asztronomiczeszkij Zsurnal 52. 182—189.
- Veres F.:* „Analityicseszkoje resényije ploszkoj uszregynyonnoj zadacsi trjoh tyel v szlucsaje cirkuljacii pericentra orbitü csasztiü”; Asztronomiczeszkij Zsurnal 57., 824—832.
- Veres F.:* „Dva csasztnih vida resenyij ploszkoj uszregynyonnoj zadacsi trjoh tyel”; Asztronomiczeszkij Zsurnal 57., 1070—1077.

**AZ ELTE CSILLAGÁSZATI TANSZÉKÉNEK
MŰKÖDÉSE AZ 1979—1980. ÉVEKBEN**

Az 1980-as Csillagászati Évkönyvben megjelent beszámolóhoz képest tanszékünk személyi állományában a következő változások történtek:

Bérczi Szaniszló tudományos segédmunkatárs helyére *Pap Judit* került;

Dr. Szabó Árpád és dr. Szeidl Béla megbízott előadók munkakörét — nevezettek fokozottabb más irányú elfoglaltsága miatt — *dr. Gazda István*, illetve *dr. Szabados László* vette át, szintén megbízott előadói minőségben;

Kovács Gedeonné előadó 1979. március 31-vel történt kilépése után munkakörébe Nagy Endrénét vettük fel, akit — szülési, illetve gyermekgondozási szabadsága miatt — 1980. április 1. óta *Lek-rinszki Ferencné* helyettesít;

László Mártonné helyett 1980. január 1-től Aszódi Sándorné látja el a takarítási teendőket.

1980. január 1-től „Az Eötvös-kísérlet újratervezése” témában kutatási szerződést kötöttünk az MTA Természettudományi I. Főosztályával. E program keretében tanszékünk létszáma az alábbi 2 főfoglalkozású és 2 részfoglalkozású munkatárssal gyarapodott.:

Molnár Sándor tudományos segédmunkatárs,

Pintér Ödön technikus,

Dr. Fialovszky Lajos tudományos tanácsadó (részfoglalkozásban)

Vörös Tibor tudományos munkatárs (részfoglalkozásban).

A tanszék oktatói feladata továbbra is a csillagász, fizikus, matematika-fizika, kémia-fizika, geofizikus, meteorológus és földrajz szakos hallgatók csillagászati képzése, valamint a földtudományi alapképzésben való részvétel. A beszámolási időszakban a következő tárgyakat oktattuk:

Kötelező előadások:

Csillagászati földrajz. Heti 1+2 óra, I. félév;

I. éves földrajz-biológia szakosoknak.

(Marik Miklós, Gábris Gyula egy. adjunktus)

A Naprendszer Heti 3+0 óra, I. félév;

I. éveseknek, a földtudományi alapképzés keretében.

(Marik Miklós, Pap Judit)

Kozmikus fizika. Heti 2+0 óra, II. félév;

II. éves fizikus hallgatók számára.

(Balázs Béla, Barta György egyetemi tanár)

Csillagászat. Heti 2+0 óra, II. félév;

IV. éves kémia-fizika szakos hallgatók számára.

(Szécsényi-Nagy Gábor)

A csillagászat elemei. Heti 2+0 óra, II. félév;

IV. éves matematika-fizika szakos hallgatók számára.

(Marik Miklós)

Csillagászat. Heti 2+0 óra, I. félév;

II. éveseknek a földtudományi alapképzés keretében.

(Vizi Zsuzsanna)

Csillagászat. Heti 2+0 óra, II. félév;

II. éves meteorológus hallgatók számára.

(Marik Miklós)

Csillagász szakosoknak kötelező, mat.-fiz., kém-fiz., fizikus és földtudományi szakos hallgatók számára speciális előadások:

Csillagászati műszertechnika. Heti 1+1 óra, I—II. félév;

III—V. éves hallgatók számára.

(Balázs Béla, Vizi Zsuzsanna)

Asztrofizika I. Heti 2+0 óra, I—II. félév;

III. éves hallgatók számára.

(Szécsényi-Nagy Gábor)

Asztrofizika II. Heti 2+0 óra, I—II. félév;

IV—V. éves hallgatók számára.

(Marik Miklós)

Általános csillagászat. Heti 2+0 óra, I—II. félév;

III—V. éves hallgatók számára.

(Szabados László)

Kozmikus geodézia. Heti 2+0 óra, II. félév;

IV. éves hallgatók számára.

(Almár Iván)

Mesterséges holdak mozgása. Heti 2+0 óra, I. félév;

IV. éves hallgatók számára.

(Érdi Bálint)

Bevezetés az égimechanikába. Heti 2+0 óra, I—II. félév;

III. éves hallgatók számára.

(Érdi Bálint)

A háromtest probléma. Heti 2+0 óra, I. félév;
V. éves hallgatók számára.

(Érdi Bálint)

A Hold mozgása. Heti 2+0 óra, II. félév;
V. éves hallgatók számára.

(Érdi Bálint)

A csillagászat története. Heti 2+0 óra, I. félév;
III—V. éves hallgatók számára.

(Gazda István)

A csillagászat legújabb eredményei. Heti 1+1 óra, I—II. félév;
III—V. éves hallgatók számára.

(Balázs Lajos, Barcza Szabolcs)

Csillagászati laboratórium. Heti 0+3 óra, I. félév;
III. éves hallgatók számára.

(Szécsényi-Nagy Gábor)

Szeminárium a szakdolgozat témaköréből. Heti 0+10 óra, I—II. félév;

V. éves csillagász szakos hallgatók számára.

(Balázs Béla, Marik Miklós, Érdi Bálint, Szécsényi-Nagy Gábor)

Speciális előadások:

Bevezetés a csillagászatba I. Heti 2+1 óra, I—II. félév;
I. éves hallgatóknak.

(Marik Miklós, Pap Judit, Vizi Zsuzsanna)

Bevezetés a csillagászatba II. Heti 2+1 óra, I—II. félév;
II. éves hallgatóknak.

(Vizi Zsuzsanna)

A Tejútrendszer szerkezete. Heti 2+0 óra, I—II. félév;
III—V. éves hallgatók számára.

(Balázs Béla)

Napfizika. Heti 2+0 óra, I. félév;
II—III. éves hallgatóknak.

(Marik Miklós)

Extragalaktikus csillagászat. Heti 2+0 óra, I. félév;
III—V. éves hallgatóknak.

(Szécsényi-Nagy Gábor)

Csillagászati megfigyelési gyakorlatok. Heti 0+2 óra, II. félév;
IV. éves tanárszakos hallgatóknak.

(Pap Judit)

A szakdolgozattal kapcsolatos észlelések. Heti 0+10 óra, I—II. félév;
IV—V. éves csillagász szakosoknak.

(Balázs Béla, Szécsényi-Nagy Gábor)

A gyakorlatokat részben a tanszéki mérőlaboratóriumban, részben az egyetem Múzeum körüli épületének toronyhelyiségeiben (10 cm-es refraktor kupolája, passzázs-, illetve cölösztát szoba, fotólabor), részben pedig az MTA Csillagvizsgáló Intézete szabadság-hegyi 6-os kupolájában rendelkezésre álló 20 cm-es refraktor segítségével tartjuk.

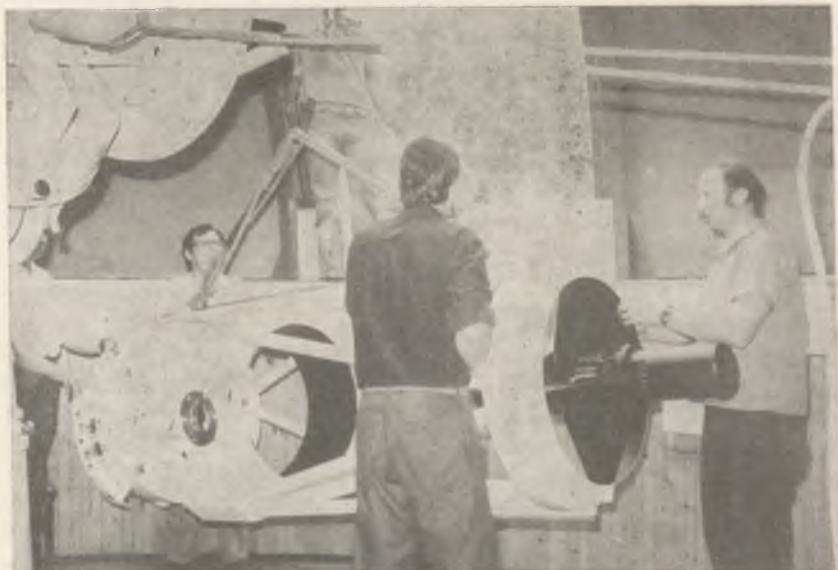
Az 1973-ban alakult *Csillagászati Tudományos Diákkör* Érdi Bálint vezetésével továbbra is élénk és színvonalas tevékenységet folytat. A diákkör a beszámolási időszakban háromszor rendezett több napos diákköri iskolát, mégpedig két ízben az ELTE visegrádi üdülőjében, egy ízben pedig a Nyíregyházi Tanárképző Főiskolán. Évente kétszer nyilvános diákköri ülésre kerül sor a Kossuth Klubban. A diákkör jelentős részt vállalt a Csillagász Klub munkájából is.

1979-ben a *XIV. Országos Diákköri Konferencián* három dolgozattal szerepeltünk. (Kiszel Vilmos „A Mars ősléggöre a kráttersűrűség-diagramok alapján” c. dolgozata II. díjat nyert). 1980-ban a *kari diákköri konferencián* Tóth Imre „Az üstököscsóvák irányának meghatározásáról” és Szatmáry Károly „A galaxisok spirálkarjainak keletkezése és stabilitása” c. dolgozatáért első díjat, Surek György „A Chiron és a Charon stabilitása” és Zsoldos Endre „Kísérő csillag hatása a cefeidák fényváltozására” c. dolgozatáért második díjat, míg Juhász Tibor „Az asztrológia II. transzformációs elmélete” c. munkájáért harmadik díjat kapott. A diákkör titkári teendőit a beszámolási időszakban Györgyey Judit, majd Surek György látta el.

1979-ben, illetve 1980-ban a következő hallgatók kaptak csillagász rész-szakos diplomát: Györgyey Judit, Jursik Johanna, Kiszel Vilmos, Kovács György, Molnár Sándor, Pásztor Emília, Simon Zsuzsa, Szalma Sándor és Tarzadin Ulanbator.

Tanszékünk a *csillagász szakemberek szakmai továbbképzését* is elősegíti. Továbbra is egyik szervezője az Országos Csillagászati Szemináriumnak, amely az egész hazai csillagásztársadalom fontos szakmai fóruma. A beszámolási időszakban átlagosan havonta egyszer került sor szemináriumi előadásokra (többségükben egyetemünk előadótermeiben).

Örvendetes tény, hogy tanszékünk műszerállománya az elmúlt két évben is több millió forint értékkel gyarapodott. A beszerzések közül kiemelkedik a Gothard Obszervatórium 6 m-es kupolájában 1980 tavaszán felállított 60 cm-es Zeiss Cassegrain-távcső, amelyhez egy fotoelektromos fotométer építése most van folyamatban. Ugyancsak 1980 tavaszán állítottuk fel — az MTA Csillagvizsgáló Intézete 7-es kupolájában — az elsősorban didaktikai célokat szolgáló és már korábban beszerzett 15 cm-es Zeiss Coudé-refraktort. A távcső optikáját néhány hónappal később sajnos ellopták, és a tetteseket mindmáig nem sikerült elfogni. Az említett távcsövek mellett még több kisebb kiértékelő műszert, valamint oktatás-, illetve számítástechnikai eszközt szereztünk be.



A szombathelyi 60 cm-es Cassegrain-távcső beszerelésének egyik mozzanata

Tanszékünkön a beszámolási időszakban az alábbi témakörökben folytak kutatások:

Nyílthalmazok többszínfotometriája és galaktikus eloszlásuk vizsgálata. (Témafelelős: dr. Balázs Béla. Kooperációban az MTA Csillagvizsgáló Intézetével.)

Részen a Lin-féle gravitációs sűrűség hullám-elmélet obszervációs ellenőrzése keretében, részben attól függetlenül vizsgáltuk a nyílt csilaghalmazokat mint optimális optikai spirálkar-indikátorokat. A fiatal ($\tau < 3,2 \times 10^7$ év) nyílthalmazok „hagyományos”, valamint általunk javasolt korrigált távolságai alapján diszkutáltuk a lokális spirálkarok lefutását.

A már „korosabb” ($\tau < 10^8$ év) halmazok bevonásával új értéket kaptunk a spirális minta szögsebességére (mindkét távolságskala használatára esetén). Eredményeink szerint a módosított távolságskala érvényességére esetén (ahol $R_{\text{Nap}} = 7,1$ kpc) Napunk a Galaxis ún. korotációs zónájában tartózkodik. A munkát a témafelelős pozitív visszahang mellett ismertette az AG müncheni közgyűlésén, a jénai, strasbourg-i és krími obszervatóriumok szemináriumán, az Asztroszovjetben, valamint a jugoszláviai csillagászok, fizikusok és matematikusok VII. kongresszusán.

Tovább folytattuk a Plejádokban és környékén található halvány csillagok fotometriai vizsgálatát, illetve a háromszín-fotometriai anyag gyűjtését (részben kooperációban a Padovai Egyetem Csillagászati Intézetével). A témakörből Szécsényi-Nagy Gábor kandidátusi értekezést készít.

„A csillagok fizikája és fejlődése” elnevezésű több oldalú akadémiai együttműködés keretében további UBV-észlelési anyagot gyűjtöttünk a megállapodásban rögzített nyílthalmazokról az MTA Csillagvizsgáló Intézete piszkés-tetői Schmidt teleszkópjával. Ugyanezzel a műszerrel infravörös és objektívprizmás felvételeket készítettünk az NGP környékéről, az M törpe csillagok térbeli eloszlásának vizsgálatára.

A témakörben megjelent tudományos publikációk:

Balázs Béla: *Verlauf und Winkelgeschwindigkeiten des galaktischen Spiral-musters aufgrund der räumlichen Verteilung offener Sternhaufen verschiedenen Alters*; Mitt. Astron. Ges. 51, 200, 1980.

Távolságmérés a Tejútrendszerben; Csillagászati Évkönyv az 1980. évre, 153, 1979.

Szécsényi-Nagy Gábor: *What Percentage of the Stars is Known in the Open Clusters?* Proceedings of the Third Symposium on Stellar Clusters, Sofia, 1979.

On the Energetic Properties of the Pleiades' Flare Stars; Proceedings of the Symposium on T Tau, FU Ori, Herbig-Haro Objects and Flare Stars, Bjurakan, 129, 1980.

A plazmafizika csillagászati alkalmazásai. (Témafelelős: Dr. Marik Miklós. Részben kooperációban az MTA Csillagvizsgáló Intézetével.)

Az előző beszámolási periódusban beindított — mágneses és „foltos” csillagokkal foglalkozó — témakörben megkezdtuk a mágneses csillagokon észlelhető felületi rendellenességek elméleti tárgyalását a magnetohidrodinamikai hullámok segítségével.

Részben Semahában végzett saját észlelések alapján (külföldi társ-szerzők bevonásával) elvégeztük nyolc héliumszegény csillag fotometriai vizsgálatát. Folyamatban van a vonatkozó potsdami fotometriai program továbbfejlesztése, ezen belül a hélium változók hullámhossz — amplitúdó relációjának vizsgálatára szolgáló keskenysávú fotometriai program összeállítása.

Idevágó tudományos publikációk:

Marik Miklós: *A Naprendszer keletkezése*; MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztály Közleményei; Előadások az I. Planetológiai Szeminárium anyagából, 297—312, 1980.

Mágneses csillagok. Csillagászati Évkönyv az 1981. évre, 216, 1980.

Vető Balázs: *Ultraviolet Observations of the Silicon Star HD 179 761*; IBVS No. 1778, 1980.

Vető Balázs—(T: W. Schöneich, J. Rusztamov): *Die Suche eines Lichtwechsels bei 8 Sternen mit anomalem Heliumgehalt*; Astron. Nachr., 301, 317, 1980.

Égimechanika. (Témafelelős: dr. Érdi Bálint.)

A kutatások a beszámolási időszakban is elsősorban a trójai kisbolygók mozgásának vizsgálatára irányultak, az elliptikus háromtestprobléma egy többváltozós sorfejtéses megoldása alapján. (Az egyes változók az ezen kisbolygók mozgásában jelentkező különféle periódusoknak felelnek meg.) Témafelelős 1980 tavaszán a témakörből kandidátusi értekezést nyújtott be a TMB-hez, és még ebben az évben sikeresen letette a szükséges filozófiai, valamint szakmai vizsgákat is. A védés 1981 első negyedében várható.

1979—80-ban megjelent égimechanikai publikációk:

Érdi Bálint: *The Motion of the Perihelion of Trojan Asteroids*; *Celestial Mech.*, 20, 59, 1979.

A Trójai kisbolygók hosszú periódusú perturbációinak vizsgálata; Kandidátusi értekezés, 1980.

Érdi Bálint—(T.: W. H. Presler): *On Long-Periodic Perturbations of Trojan Asteroids*; *Astron. J.*, 85, 1670, 1980.

Egyéb munkák

Elvégeztük a 60 cm-es Cassegrain-távcső finomjusztírozását, a seeing fotografikus vizsgálatát, és a távcsőhöz illeszkedő fotométer, valamint kijelzőrendszer elvi összeállítását. Külső szakértő bevonásával exponometert és új összehasonlító színképforrást terveztünk az UAGS spektrográfhhoz. Tovább folytattuk az infravörösben érzékeny fotólemezek hiperszenzibilizálására vonatkozó kísérleteket.

Interdiszciplináris szempontból foglalkoztunk a Galaxisban végbenő nagyléptékű ciklikus folyamatokkal, és a szakkollégák számára feldolgoztunk több, általános érdeklődésre számító csillagászati témát.

Részt vettünk a δ Scuti típusú változók vizsgálatában, és jelentősen előrehaladtunk a multiperiodikus pulzáló változók O—C görbéjének modellezésében.

Foglalkoztunk az üstököscsókák térbeli helyzetének meghatározásával, és ekvidenzitometriai méréseket végeztünk (Padovában) korábban készült üstökösfelvételek kiértékelésére.

A Gothard Obszervatóriumban interdiszciplináris témaként tovább vizsgálták a holdfázisok, a naptevékenység és a földmágnesség hatását egyes rovarfajták magatartására.

Idevágó megjelent munkák:

Balázs Béla—(T.: Fényes Imre, Horváth József, Géczy Barnabás): *Mi az idő?* Gondolat Kiadó, Budapest, 1980., 240 o.

Marik Miklós—Szécsényi-Nagy Gábor: *A csillagászat legújabb eredményeiből*; Csillagászati Évkönyv az 1980. évre, 123, 1979.

Szécsényi-Nagy Gábor: *Jenseits der Milchstrasse*; Urania Verlag, Berlin, 1979. 130 o.

Tájékozódás a csillagos égen; Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. 172 o.

Az extragalaktikus objektumok morfológiai vizsgálata és néhány különösen jellemző tulajdonságuk; Csillagászati Évkönyv az 1981. évre, 281, 1980.

Tóth Imre: *A Method for the Determination of the Inclination Angle between the Cometary Tail and the Radius Vector*; Astron. Nachr., 302, 99, 1981.

Tóth György: *Effect of the Moon Phases and the Intensity of Polarised Moonlight on the Light-trap Catches*. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, 88, 337, 1979.

A fénycsapdás gyűjtést módosító környezeti tényezők: III. Az általános környezeti megvilágítottság; I. díjas VEAB-pályamű, 1979, 62 o.

A fénycsapdás gyűjtést módosító környezeti tényezők: IV. Az időjárás és kozmikus tényezők együttes hatása. Díjazott VEAB-pályamű, 1979, 66 o. Százéves a szombathelyi Gothard Obszervatórium; Csillagászati Évkönyv az 1981. évre, 316, 1980.

Vető Balázs—(T.: Kovács G.): *Observations of Two Low-amplitude δ Scuti Stars: HD 23156 and HD 73763*; IBVS No. 1592, 1979.

A még az előző beszámolási periódusban írt egyetemi jegyzetek közül az alábbi kettő megjelenése húzódott át 1979-re:

Balázs Béla—Barta György: *Kozmikus Fizika*; Tankönyvkiadó. Budapest, 1979, 215 o.

Tanszéki kollektíva: *Bevezetés a csillagászatba*; Tankönyvkiadó, Budapest, 1979, 280 o.

Tanszékünk oktatói és kutatói a beszámolási időszakban is számos külföldi tanulmányutat bonyolítottak le. Továbbra is tevékenyen részt vettek különböző nemzetközi, illetve hazai tudományos szervezetek munkájában, szakmai rendezvények programjában, és emellett kiterjedt nemzetközi kapcsolatokat tartottak fenn egyetemünk kétoldalú egyezményei keretében. A beszámolási időszakban a moszkvai Lomonoszov Egyetem, az Asztroszovjet, a jénai F. Schiller Egyetem, a Belgrádi Egyetem, a Bécsi Egyetem és a Texasi Egyetem szakkollégái látogatták meg tanszékünket. Oktatói és kutatói feladataik ellátása mellett munkatársaink lényeges részt vállaltak a MTESZ és a TIT munkájában, úgy a szóbeli, mind az írásbeli csillagászati ismeretterjesztésben, illetve továbbképzésben.

**TIT BUDAPESTI PLANETÁRIUM ÉS URÁNIA BEMUTATÓ
CSILLAGVIZSGÁLÓ AZ 1980. ÉVBEN**

TIT Budapesti Planetárium

Műsorok

E beszámolási évben is a megszokott gazdagságban kínálta műsorait a Planetárium a nagyközönségnek: havonta 7—9 különféle műsort tűzött programjára — nem számítva a három korosztálynak adott iskolai, oktató műsorait.

Az év folyamán hét új műsor készült: *Életünk és a csillagászat* (Schalk Gyula), *Feltárul az Univerzum* (Ehmann Péter), *A Hold* (Csaba György), *Lesz-e világvége?* (Csaba György—Taracsák Gábor), *Naptárunk története* (Ponori Th. Aurél), *A Világegyetem hangja* (Sajó Péter), *A Világegyetem mélységei* (Ehmann Péter).

A négy teljesen átdolgozott műsor: *A bellehemi csillag* (Ponori Th. Aurél—Schalk Gyula), *A Nap családja* (Schalk Gyula), *Utazás térben és időben* (Schalk Gyula), *Űrkutatás — űrhajózás* (Sajó Péter).

Az Űrkutatás — űrhajózás c. műsort az első magyar űrhajós utazása idején sok esetben illesztettük programunkba soron kívül, és összeállítója időről időre úgy módosította szövegét, hogy lépést tartson az eseményekkel. Farkas Bertalan visszaérkezése után alakult ki az a végleges forma, amelyet a közönség a további negyedévekben is láthatott, hallhatott.

A Nap családja című gyermekműsorunk „címszerepének” eljátszására, vagyis a Nap hangjának megjelenítésére Halász Judit színművésznőt kértük fel, aki oly nagy érzékkel tud szólni a legifjabb korosztályhoz. A műsort eredetileg a 6—10 éves korosztályoknak szántuk, de a nagycsoportos óvodások is tetszéssel fogadják, és nagy figyelemmel hallgatják végig — igazolva ezirányú elképzeléseink jogosságát.

Az említetteken kívül az év folyamán még a *Földünk bolygótestvérei*, a *Helyünk a Világegyetemben* és a *Sorsunk és a csillagok* című műsorok szerepeltek a Planetárium éves programjában. Aligha lehetne találni olyan nagyplanetáriumot, amely hasonló bőségben tárná műsorait a nagyközönség elé.

Nem csillagászati műsorok

Eredeti elképzeléseinknek megfelelően a beszámolás évében több nem csillagászati jellegű műsor megrendezésére is sor került a Planetáriumban — részben a csillagászati műsorok helyett, részben a kieső időkben. Így tavasszal és nyáron az *Űropera* című, fantasztikus, lézert is felhasználó multimédia előadássorozat, míg decembertől 1981 elejére áthúzódnak a több színű lézersugarak varázsát bemutató *Lézerofónia* produkció aratott nagyobb közönségsikert. Ezeket az Iparművészeti Főiskola KISZ-szervezete rendezte, és a Planetárium csak a méltó helyet adta hozzá. Hasonló lézerműsorokat több külföldi nagyplanetáriumban is lehet látni. Bebizonyult ellenben az, hogy színpadot, díszleteket igénylő és több szereplőt felvonultató produkció — mint *A Möbius-tér* — előadására a Planetárium nem alkalmas, és komolyabb mértékben zavarja az elsődleges feladatok végzését. Ezért sem ilyen, sem a rendes műsoridőbe eső egyéb előadás rendezésére nem kötünk terembérlési szerződést.

Meg kell emlékeznünk Halász Judit színművésznő igen sikerült előadói matinéjáról, amelyet karácsonykor tartott a Planetáriumban gyermekek számára.

Látogatottság

A beszámoló évében 839 előadáson 190 867 látogatót fogadott a Planetárium. Hogy a létszám nem érte el a tervezett 200 000 látogatót, az több okra vezethető vissza. A látogatottságra kedvezőtlenül hatott az 1980 elejétől felemelt jegyár (6,— Ft-ról 8,—, illetve 12,— Ft-ról 15,— Ft-ra), másrészt az előadások száma is kevesebb volt a nem csillagászati, de műsoridőkben rendezett programok miatt.

A teremkihasználtság mértéke az elmúlt időszakéhoz képest nem csökkent jelentős mértékben: az 1979. évi 63,5%-ról 61,5%-ra. Így a 60% feletti arányt továbbra is tartottuk, és a kevesebb látogató ellenére is mintegy 20%-kal túlteljesítettük előirányzott bevételi tervünket.

A közönségáramlásnak e beszámolási évben is mutatkozott az eddig tapasztalt évi és heti hullámváltozása: tavasszal és ősszel, illetve a hétvégeken volt a látogatási csúcs. Tervbe vettük, hogy az 1981-es évben (kísérletképpen) minden szombat délelőtt is adunk 2—2 műsort. Ezzel részben közönségigényt elégítünk ki, részben hasznosítani kívánjuk az eddig szombati napokon kiesett időt, és ilyen módon is növelni bevételi tervünket.

Nem sikerült még kellőképp felkeltenünk az idegenforgalmi szervek érdeklődését idegennyelvű műsoraink iránt, így csak elvétve került sor külföldi csoportok fogadására a Planetáriumban.

Szervezés és propaganda

Műsorainknak napi (Magyar Rádió) és heti (Pesti Műsor) rendszeres ismertetésén kívül minden negyedévben kiadtunk egy műsorfüzetet, amelyből a programok részletezésén felül a közönség minden fontosabb tudnivalóról értesülhetett. Ezenkívül az iskolaév kezdete előtt szétküldtük az ország minden iskolájának az iskolai műsorfüzetet, amelyben az oktató műsoraink rendje egész évre előre megtalálható. Bizonyára ennek is betudható volt az, hogy a délelőtti oktató műsorainkat az év legnagyobb részében telt ház előtt tartották meg a Planetárium munkatársai. Ezek az előadások előszavak, de kísérletet fogunk tenni hangszalagra rögzített oktató műsorok bevezetésére is. E téren kedvező külföldi tapasztalatokkal rendelkezünk.

A beszámolás évében (két változatban) kisebb méretű, a tömegközlekedési járműveken is elhelyezhető plakátokat készítettünk, amelyek a metróval való megközelíthetőségre is felhívják a figyelmet.

Valóban igen jelentős lépés volt a Planetárium kényelmes megközelítése terén a metró 3. vonalának meghosszabbítása: a Könyves Kálmán körüti — Népliget nevű — állomása egészen közel esik a Planetáriumhoz. Ezt a metróállomás több pontján elhelyezett, Planetárium feliratú útbaigazító táblák is hirdetik. A metróállomás megnyitása — 1980 április — óta a közönség nemcsak könnyebben, hanem az Üllői út—Könyves Kálmán körút kereszteződésének felszíni rendezésével kulturáltabb körülmények között éri el a Planetárium szép épületét.

Időszakos ismertetőink főként napilapokban és idegenforgalmi tájékoztatókban jelentek meg.

Műszaki fejlesztés

A Zeiss Universal főműszer nyári karbantartása alkalmával került sor egy eltört alkatrész cseréjére, aminek érdekében az egész műszert szét kellett szerelni.

Az új beszerzések közül megemlítenő 9 db GAF—202 típusú diavetítő, amelyeket a házi készítésű körpanorámák céljaira használunk fel. Az AKAI GK—400D típusú, 4 sávú kvadrofón magnetofonkészülék és 2 db háromsávos Gauss hangszugárzó rendszer a műsorok akusztikai tökéletesítését célozza.

Egyre több segédberendezés készül a Planetárium házi műhelyében. A beszámolás évében elkészült a *húr mentén vetítő körpanoráma-rendszer*hez a képet megfelelően torzító fényképező állvány, továbbá ennek kipróbálására egy 3 tagú vetítőrendszer. Az Űrkutatás — űrhajózás c. műsor átdolgozott változatához elkészült ehhez egy 3 képből álló Mars-tájkép (melyet id. Sajó Péter festett, s melyet ezúton is köszönünk alkotójá-

nak). E részletből is megállapítható, hogy milyen mély benyomást keltő körpanorámák készíthetők ezzel a módszerrel. A képek hatásosságát jelentősen fokozza az is, hogy az így készített körpanoráma-tájak jóval magasabbra nyúlhatnak fel a kupolán, mint azt az eredeti Zeiss-vetítők engednék.

Átlátszó falú műanyag félgömb felhasználásával készült a *rádióégbolt-vetítő*. Ilyen módszerrel még sokféle segédprojektor készíthető. Elkészült egy *pulzár-vetítő*, amely e különös égitestek gyors forgását érzékelteti.

A műsorok sztereo-felvételéhez a műhely háromcsatornás, ún. *passzív keverőpultot* épített, amelynek segítségével a műsorok hanganyagának felvétele egyrészt egyszerűbben, másrészt minőségileg magasabb fokon végezhető. Ezzel a berendezéssel jelentős anyagi befektetést igénylő beszerzést tudtunk helyettesíteni.

Planetárium Tanács

E társadalmi szervezet az eddigi összetételben működött. Tavaszi és őszi vezetőségi, továbbá plenáris ülésein ismertetéseket, beszámolókat hallgatott meg a Planetárium működésének területeiről. Rendes és rendkívüli ülései alkalmával megtekintette az új műsorokat, és tanácsokat adott ezek szerkezeti, szakmai, sőt stílári vonatkozású tökéletesítésére.

A planetáriumi műsorok szövegrészének, forgatókönyvének lektorálása terén különösen Barlai Katalin és dr. Kulin György fáradozásait és gondosságát kell kiemelni.

Külföldi kapcsolatok

Az eddig is igen eredményes külföldi kapcsolatok ápolása és továbbfejlesztése terén az 1980-as esztendő különösen eredményes volt. Június 23—29-e között Ponori Th. Aurél igazgató utazott Ausztriába és tanulmányozta a bécsi planetárium munkáját és módszereit, műsorait és felszerelését. Ezt az önmagában is hasznos látogatást egészítette ki október 4—10-e között Hermann Mucke úrnak, a Bécsi Planetárium és Urania Csillagvizsgáló igazgatójának látogatása Budapesten. E látogatások eredményeként született az együttműködési megállapodás, amely a többi között planetáriumi műsorok cseréjére is kiterjed. Kétségtelen, hogy a jövőben a két szomszéd állam nagyplanetáriumai egyaránt hasznot húznak e megállapodásból.

A pécsi Népek Barátsága elnevezésű nyári egyetem egyik új szekciója lett a *baráti államok kisplanetárium vezetőinek találkozója*. Az NDK-beli, bolgár és magyar szakemberek július 24—30-i összejövetele osztatlan elismerést váltott ki a résztvevőkből. Valamennyien úgy érezték, hogy az ilyen találkozóra igen nagy szükség van, és már az első felettébb

hasznos volt. A találkozó utolsó napján a résztvevők — Budapesten átutazóban — látogatást tettek a budapesti Planetáriumban is.

E találkozó még a beszámolás évében egy másik összejevetelt eredményezett: szeptember 29. és október 3. között Sajó Péter és Schalk Gyula Cottbus város tanácsa oktatási osztálya meghívására Cottbusban (NDK) tanulmányozhatta az ottani planetárium munkáját és felszerelését. A Budapesti Planetárium munkatársai gazdag és hasznos tapasztalatokkal térhettek haza. Günter Golka igazgatót külön köszönet illeti e tanulmányút létrehozására irányuló sikeres fáradozásaiért.

A külföldi társintézményekkel kötött közvetett és közvetlen kapcsolatok a jövőben is folyamatosan éreztetik kedvező hatásukat, s ez megérződik Planetáriumunk munkáján.

Személyi ügyek

A fontosabb beosztásban levők közül Illés Gyula gondnok lépett ki ősszel a Planetárium dolgozói sorából. Hosszabb ideig tartott, amíg helyét Strasser Zoltánné-val betölthettük.

Az év végén mondott fel Ehmann Péter tudományos munkatárs. Az emiatt bekövetkezett sok műsorváltozás közlését az 1981. I. negyedévi műsorfüzetben csak külön lap gyors kinyomtatásával lehetett megoldanunk.

Egyéb ügyek

A beszámolási év folyamán dr. Fejéregyházy Kálmán, majd Hajdu Kálmán szép és szakszerű csillagászati, illetve űrkutatói és űrutazási vonatkozású gyűjteményét állította ki a Planetáriumban a Magyar Bélyeggyűjtők Országos Szövetsége.

A Planetárium Tanács tagja, Karlovits Károly kezdeményezésére az Országos Műszaki Múzeum az év második felében szinte páratlanul érdekes és értékes *ég- és földgömbkiállítást* szervezett a Planetárium körfolyosójában. A gazdag anyagban volt látható az első magyar feliratú éggömb és földgömb, továbbá a hazánkban őrzött legrégebbi földgömb. Itt került nyilvánosság előtt bemutatásra a beszerzett, 50 cm átmérőjű Baader-gömb, a legkisebb projekciós planetárium is.

1980 novemberében volt látható a Planetáriumban egy *hologram-kiállítás*. Ilyen sok, nagyrészt külföldről származó, lézeres és fehér fényben is látható térbeli képet hazai közönségnek még nem mutattak be.

A Planetárium munkatársai igen nagy szükségét érezték mindig egy kisebb, 30—40 főnyi befogadóképességű helyiségnek, ahol kisebb csoportokat lehetne fogadni, szakköröket foglalkoztatni. Az év folyamán kezdtük kialakítani a mellékbejárat mögötti térség átalakítását ilyen célokra.

A munkát könnyítette az a körülmény is, hogy — vállalkozó hiányában — megszűnt ott a könyvesbolt.

Csillagászati témájú kiadványokat: könyveket, térképeket ezentúl a Planetárium pénztáránál szerezhetnek be az érdeklődők.

A beszámolás évében jelent meg a Planetárium Füzetek sorozat második tagja, Sajó Péter: *A planetárium technikája* c. ismertető írása.

A Planetárium a Tájak—Korok—Múzeumok 0179 bélyegzőhelye lett.

TIT Budapesti Uránia

A TIT Uránia Bemutató Csillagvizsgálója 1980. évi tevékenységét jóváhagyott éves munkatervének megfelelően végezte, betöltve funkciójából adódó feladatait:

- napi közönségszolgálat: felvilágosítás, előadás, filmvetítés, távcsöves bemutatás, egyéni látogatók, felnőtt és iskolai csoportok számára;
- a Csillagászat Baráti Köre (CSBK) mozgalom szervezése, munkájának irányítása, a tagság ellátása távcsövekkel és optikai elemekkel;
- a csillagászati szakköri mozgalom szervezése és tartalmi gondozása;
- a vidéki TIT Uránia Csillagvizsgálók tartalmi munkájának eszmei irányítása, a nem a TIT kezelésében álló bemutató csillagvizsgálók szervezésének és munkájának támogatása;
- csillagászati megfigyelő munkák, észlelőtáborok szervezésében közreműködés, a TIT által szervezett megfigyelőmunkák irányítása, a megfigyelési adatok gyűjtése, feldolgozása és saját szerkesztésű kiadványokban való megjelentetése;
- módszertani műhely jellegéből adódóan újszerű, aktivizáló ismeretterjesztő formák kikísérletezése a Csillagászat Baráti Köre csoportjai és a csillagászati szakköri mozgalom számára.

A megjelölt teendők gyakorlatilag három egymásra épülő feladatkört alkotnak.

Előadások, szakkörök

Az érdeklődő nagyközönség kiszolgálása hivatalos munkaidőben és minden derült hétköznap este. Az egyszerű távcsöves bemutatásokon túl a beszámolási időszakban a hagyományos tavaszi, illetve őszi csüdtörtöki előadássorozat előadásai voltak:

Tavasszal: Zombori Ottó: Emberek, távcsövek, csillagok; Kelemen János: Az ősgalaxisok; Vizi Zsuzsanna: Hova lett a hiányzó tömeg?; Pap Judit: A nyílthalmazok szerepe a kozmológiában; Gesztesi Albert: Földünk a világűrben; Szécsényi-Nagy Gábor: A modern csillagászat műszerei; Taracsák Gábor: A világ két „vége” (A kezdet ...?); Csaba György: A világ

két „vége” (... a vég?); Both Előd: *Égimechanika az űrkutatás korában*;

Ősszel: Zombori Ottó: *Az űrkutatás csillagászati alapjai*; Fodor Lajos: *Honfoglalás a kozmoszban?*; Hédervári Péter: *Bolygórendések és vulkánok a Naprendszerben*; Csák Elemér—Farkas Bertalan—Magyari Béla: *Magyar űrhajósok Csillagvárosban*; Illés Erzsébet: *Az óriásbolygók az űrkutatás tükrében*; Jéki László: *Magyarország részvétele az Interkozmosz-programban*; Sárhidi Gyula: *Start előtt az űrrepülőgép*; Szüle Dénes: *Amíg a magyar űrhajós elindult*.

Az Uránia munkatársai által vezetett csillagászati szakkörök, valamint a *Bevezetés a csillagászatba* és a *Csillagászati gyakorlatok* című sorozatok résztvevői a hagyományos amatőrcsillagászati előadások mellett újszerű laborgyakorlatokon ismerkedtek meg a csillagászat néhány problémájával.

Szintén a hagyományos módon folytattuk a *nappali és esti bemutatásokat* az Uránia Csillagvizsgáló citadellai részlegében felállított távcsöveinkkel, a tavasztól ősziig terjedő időszakban. A citadellai részlegben és az Urániában az év folyamán mintegy 40 ezer ember fordult meg.

Az Uránia a Tájak—Korok—Múzeumok 0184. bélyegzőhelye lett.

A Csillagászat Baráti Köre

vezetését (vezetőségi, megyei ügyintézői értekezletek, országos találkozók szervezése stb.) az Uránia látja el. A csillagászat iránt érdeklődők legszélesebb táborának — ennek az önkéntességen és önképzésen alapuló mozgalomnak — a taglétszáma a baráti köri ügyintézők jelentése szerint az 1980. év végére meghaladta a 6000 főt:

Budapest	1380	Komárom	308
Baranya	279	Nógrád	125
Bács-Kiskun	307	Pest	388
Békés	253	Somogy	91
Borsod	513	Szabolcs	242
Csongrád	226	Szolnok	311
Fejér	293	Tolna	81
Győr-Sopron	161	Vas	78
Hajdú-Bihar	237	Veszprém	229
Heves	311	Zala	250
Összesen:			6063

Ebben az évben is több megyei szintű baráti köri találkozóra került sor, melyeken az Uránia munkatársai és a CSBK vezetősége rendszeresen képviseltette magát.

A Csillagászat Baráti Köre XI. Országos Találkozójára augusztus 21—24. között került sor Szolnokon. A Szentendre városa által 1963-ban alapí-

tott Zerinvári emlékérmét (melyet eddig 12 kiváló munkát végzett amatőrcsillagász kapott meg) ebben az évben Kovács Miklós, a Szolnok megyei csillagászati szakosztály elnöke, egyben a törökszentmisklósi szakkör vezetője kapta meg kiemelkedő amatőrcsillagász munkájáért. A szakmai program keretében dr. Balázs Lajos: *A csillagászat legújabb eredményei*, dr. Kulin György: *Kozmikus védettségünk és fenyegetettségünk*, Gesztesi Albert: *Magyarország részvétele az Interkozmosz-programban*, Illés Erzsébet: *A Naprendszer kisebb égitestjei* című előadások hangzottak el. Szintén a hagyományoknak megfelelően alakultak a délutáni, illetve esti programok, melyeken a szekcióüléseken kívül a Találkozó résztvevői megismerkedhettek a szolnoki amatőrcsillagászok tevékenységével, mind a központi rendezvényeknek helyet adó megyei művelődési központ, mind pedig a Tiszamenti Vegyiművek által fenntartott szakkörök munkáján keresztül. A Találkozó utolsó napján került sor a meghívott külföldi vendégek beszámolóira, melyeken röviden ismertették hazájuk amatőrcsillagász-mozgalmának főbb tevékenységét. Képviseltette magát a Találkozón Románia, az NDK és először (a mozgalom szempontjából is kiemelkedő módon) Bulgária amatőrcsillagász-mozgalma egy-egy illusztris képviselővel. Az utolsó napon került sor a Csillagászat Baráti Köre vezetőségének megválasztására az 1980—84-es időtartamra. A vezetőség: dr. Kulin György, Ponori Theurewicz Aurél, Zombori Ottó, Bánfalvy Péter, dr. Dankó Sándor, Engler Nándor, dr. Gőz Lajos, dr. Kanyó Sándor, Karázi István, dr. Kelemen János, Kemenes Lászlóné, Keszthelyi Sándor, Kizel Vilmos, Mizser Attila, Papp János, Paszt György, dr. Szabó Gyula, Szoboszlai Endre, Szőke Balázs, Újvárosy Antal. A Találkozó alkalmával került sor a Meteor és az Albireo című amatőrcsillagászati kiadványok szerkesztőinek első közös megbeszélésére.

Szakmai-módszertani irányító munka

Az Uránia fontos feladata az országban működő mintegy 150 csillagászati szakkör, valamint a vidéki bemutató csillagvizsgálók munkájának irányító-tanácsadó tevékenysége. Ezek a szakkörök és csillagvizsgálók fejtik ki hazai viszonylatban a legmagasabb szintű amatőrcsillagászati tevékenységet, és végeznek — időnként — határainkon túl is elismerésre méltó megfigyelő munkát. Az Uránia ennek segítésére és összefogására adja ki a Meteor című, kéthavonta megjelenő belső kiadványát, mely hasznos ismereteket ad a CSBK észlelő amatőrjeinek, valamint a csillagászati szakköröknek az elméleti képzéshez, közli az amatőrök csillagászati megfigyeléseit, tanácsokat ad távcsőépítéshez és más észlelőeszközök összeállításához. Az amatőrcsillagászati észlelési gyakorlat egységesítése és továbbképzés céljából rendezi az Uránia a már hagyományos-

nak nevezhető rókafarmi észlelő-építőtábor a Bükk-hegységben levő Hollóstető közelében, ahol az Uránia munkatársai és más szakemberek vezetése mellett a részt vevő fiatal amatőrök megismerkednek az észlelési technikával, és a kapott adatok kiértékelési problémáival. A beszámolási időszakban három alkalommal táboroztak az ország és természetesen Budapest fiatal amatőrészillagászati Rókafarmon.

Az Uránia sokrétű munkájáról a Magyar Televízió 1980 májusában „Csillagnézőben” címmel 35 perces időtartamú, jól sikerült összefoglalást adott.

Hazai és nemzetközi kapcsolatok

A hasonló feladatokat végző hazai és nemzetközi szervezetekkel gyakorlatilag állandó munkakapcsolatban állunk (kiadványcsere, rendezvényekre történő meghívás stb.).

A beszámolási időszakban kiemelkedő hazai vonatkozású rendezvénynek tekintjük az egyetemi-főiskolai hallgatói TIT-csoportok tanár- és diákvezetői országos tanácskozásának mintegy 80 fős látogatását az Urániában, melynek során megismerkedtek az intézmény tevékenységével, és ez az újszerű kezdeményezés bizonyára kölcsönös jó kapcsolatok kialakulásához vezet.

Nemzetközi vonatkozásban — a szintén rendszeres munkakapcsolatokon túl — említésre méltó Hermann Mucke, a bécsi Urania és Planetárium igazgatója, valamint Aarre Kellomäki (Pikonlinna, Finnország) finn amatőr változócsillag-észlelő Urániánkban tett látogatása, az Uránia munkatársakkal történt tanácskozása, mely feljogosít bennünket a további együttműködésre is.

Személyi ügyek

Igazgató: Ponori Thewrewk Aurél. Csoportvezető, választmányi referens: Zombori Ottó. Titkárnő: Murányi Lászlóné. Gazdasági ügyintéző: Bársony Bertalanné. Tudományos főmunkatárs: dr. Kulin György (részfoglalkozásban). Tudományos munkatársak: dr. Kelemen János, Torma Tibor. Gondnok: Nagy Ferenc. Takarító: Hajnal Ferencné. Műszaki csoportvezető: Kürti Imre. Műszerész: Marinka Tóth József (1980. XI. 23-ig), Varga János (1980. XII. 15-től). Műszaki részfoglalkozásúak: Orgoványi János műszerész, Staszinszky Miklós műszerész, Csengei László (1980. IV. 24-ig), Zimmer Ferenc (1980. V. 15-től X. 31-ig), Ulrich Ferenc optikus, Busi György (1980. XI. 15-től). Citadellai pénztárosok: Szentgróti Rezsőné, Herczeg Tibor (1980. VIII. 31-ig).

Az Uránia mindennapi feladataiban, az esti közönségforgalom lebonyolításában alkalmilag díjazott külső, társadalmi munkatársak segítettek: Aradi Katalin, Bán András, Deicsics László, Farkas Ernő, Holl András, Jáhl Attila, Janeczky László, Makovecz Benjamin, Mohai Péter, Molnár Tamás, Nagy Ferenc, Pap Judit, Róka László, Rónai Péter, Spányi Péter, Steiner András, Szalma Sándor, Szánthó Lajos, Szécsy Ilona, Tarnai Kálmán, Varga Géza, Závodi László.

**A TIT CSILLAGÁSZATI ÉS ŰRKUTATÁSI VÁLASZTMÁNYÁNAK
ÉS SZAKOSZTÁLYAINAK 1980. ÉVI TEVÉKENYSÉGE**

A Választmány munkája

A Választmány — munkatervének megfelelően — négy vezetőségi és két plenáris ülést tartott.

Vezetőségi ülések

1980. február 27. (TIT Planetárium)

- A Bács-Kiskun megyei szakosztály munkájának tapasztalatai (dr. Ill Márton);
- a tavaszi plenáris ülés előkészítése (Zombori Ottó);
- a megyei (budapesti) szakosztályok munkatervének értékelése (dr. Balázs Béla).

1980. május 15. (Penc, Kozmikus Geodéziai Obszervatórium)

- A Komárom megyei szakosztály munkájának tapasztalatai (Dinga László);
- tájékoztató a Választmány rendezvényeivel kapcsolatos tennivalókról (Zombori Ottó);
- a Kozmikus Geodéziai Intézet tevékenysége (dr. Almár Iván).

1980. október 22. (Uránia Csillagvizsgáló)

- A Borsod megyei szakosztály munkájának tapasztalatai (dr. Szabó Gyula);
- beszámoló az Uránia Csillagvizsgáló tevékenységéről (Ponori Thewrewk Aurél);
- az őszi plenáris ülés előkészítése és a Választmány 1981. évi munkatervjavaslata (Zombori Ottó).

1980. december 29. (TIT Stúdió)

- A Zala megyei szakosztály munkájának tapasztalatai (Bánfalvi Péter);
- a vezetőség megyei látogatásainak tapasztalatai (dr. Kanyó Sándor, Ponori Thewrewk Aurél, Zombori Ottó);
- tájékoztató a Csillagászati Évkönyv előkészítő munkálatairól (Schlosser Tamás).

Plenáris ülések

1980. április 16. (TIT Stúdió)

- A csillagászati ismeretterjesztés a TIT folyóirataiban (dr. Szeidl Béla, dr. Guman István, dr. Ill Márton, dr. Szécsényi-Nagy Gábor). E napirendnél részt vettek az illetékes szerkesztők is);
- beszámoló az 1979-ben végzett csillagászati és űrkutatási ismeretterjesztő tevékenységről és a Választmány munkájáról (dr. Almár Iván);
- szakmai továbbképző előadás: „Környezetvédelmi koncepció és követelményrendszer” (Laár Árpád, Országos Környezet- és Természetvédelmi Hivatal).

1980. november 12. (TIT Stúdió)

- A Választmány vezetőségének beszámolója a Választmány rendezvényeiről (dr. Almár Iván);
- az MSZMP XII. kongresszusa határozataiból, valamint a VI. ötéves terv irányelveiből a Választmányra háruló feladatok (dr. Kányó Sándor);
- szakmai továbbképző előadás: „A Nap-maximum éve” (dr. Kálmán Béla);
- A TIT Természettudományi Stúdiója és Uránia Bemutató Csillagvizsgálója, valamint a Népművelési Intézet közös, a természettudományi szakköri mozgalommal kapcsolatos munkaterve 1981—85;
- a vezetőség javaslata a Választmány 1981. évi munkatervére (Zombori Ottó).

A plenáris ülés elfogadta a Választmány 1981. évi munkatervét.

A Választmány vezetősége az 1980. év folyamán helyszíni tapasztalatszerzésen vett részt Baranya, Bács-Kiskun, Borsod, Csongrád, Győr-Sopron, Fejér, Nógrád, Somogy, Szolnok, Veszprém és Zala megyékben.

A Választmány közreműködésével, illetve tartalmi útmutatása alapján lebonyolított rendezvények:

- IV. amatőr csillagász építő-észlelőtábor Rókafarmon (15 fő, 1980. június 16—23-ig);
- A Csillagászat Baráti Köre XI. Országos Találkozója Szolnokon, (1980. augusztus 21—24-ig, 160 fő);
- közös előadói konferencia a TIT Hadtudományi Választmányával (1980. szeptember 5. TIT Stúdió):
Űrkutatás és a korszerű társadalom (Baj Attila);
Az Interkozmosz-program az 1980-as években (dr. Ferencz Csaba);
A békés és a katonai űrkutatás összefüggései (Beöthy Mihály);
A szovjet—magyar űrrepülés az irányító központból nézve (dr. Horváth András).

- A Választmány levelező tanfolyamának központi vizsgái az Uránia Csillagvizsgálóban (1980. június 18. és dec. 30.);
- központi előadói konferencia (1980. dec. 29. TIT Stúdió):
A matematikai csillagászat születése (dr. Guman István);
Az éghajlatingadozások csillagászati vonatkozásai (dr. Marik Miklós).

A Választmány vezetőségéből a TIT Országos Elnöksége ülésein dr. Almár Iván, dr. Kulin György, Ponori Thewrewk Aurél és Zombori Ottó vettek részt.

A TIT Természettudományi Osztálya a természettudományi választmányok elnökei és referensei számára tartott közös értekezletén 1980. október 8-án dr. Almár Iván és Zombori Ottó vettek részt.

A Választmány levelező tanfolyamának vizsgáin 1980-ban 51 fő szerepelt eredményesen.

Az első magyar űrhajós űrrepülésének alkalmából téma- és irodalomajánlást jelentettünk meg a „Magyarország és az űr kutatás” témakörhöz. 1980 decemberében nyomdába adtuk a Csillagászati Értesítő 1980-as számát, valamint a csillagászati szakkörvezetők útmutatóját (dr. S. Tóth László—Bardócz András: Csillagászati feladatok és kísérletek).

A szakosztályok működése

Budapest

Az 1980. évre kitűzött feladatainkat — a lehetőségek szerint — lényegében végrehajtottuk. Ismeretterjesztő programunk három nagy, egymást részben lefedő témakör köré csoportosult: csillagászat, űrkutatás és asztronautika. A súlypont a szovjet—magyar űrrepülés, valamint az „Ember és kozmosz” című vetélkedőre felkészítő előadássorozatok hatására az asztronautika-űrkutatás irányába tolódott el.

Az ismét erősödő „UFO-járvány” ellen és más tévhitekkel és mítoszokkal szembehelyeztük a korszerű csillagászati világképet tükröző programjainkat.

1980-ban 513 előadást tartottunk (74,5%-kal többet, mint 1979-ben). A tudománybaráti körök száma változatlan maradt: az általános és a középiskolákban, művelődési házakban 14 kört indítottunk. Csak az előadások elenyésző százalékában nem éltünk (vagy nem volt módunk élni) a szemléltetés adta lehetőségekkel. Ismeretterjesztő tevékenységet három szinten folytattunk:

- *alapfokú ismeretterjesztés*; a rövid sorozatok, egyedi előadások zöme ide tartozik. A hallgatóság: a középiskolások és az általános iskolák tanulói, ipari munkások, üzemek, vállalatok dolgozói.
- *középszintű ismeretterjesztés*: a tudománybaráti körök (szakkörök) fog-

lalkozások; a hosszabb, szaktémájú sorozatok előadásai tartoznak elsősorban ide. Ezek a programok általában egy-egy előadó munkájához kötődnek, ezért a hatékonyságuk, a közönségkapcsolat elmélyülése jellemző e formára. A kiscsoportos foglalkozások itt már gyakoribbak, mint az előző kategóriánál. Ez az aktuális eseményekhez való alkalmazkodást erősítheti.

- *magasszintű ismeretterjesztés*: ezt a formát a József Attila Szabadegyetem biztosítja. Az 1980/81. évben az „Általános csillagászat I.” (106 beiratkozott hallgató) mellett sikerrel hirdettük meg a folytatását, az „Általános csillagászat II.”-t (44 fő beiratkozott), valamint a „Csillagászati laboratóriumi gyakorlatok” c. kollégiumot (30 hallgató). A sorozatok előadásainak száma: 16, 12, 12. Az első két sorozat utolsó előadásán a felkészültebb hallgatók tudásukról vizsga formájában adhatnak számot. Mindhárom sorozat anyagát a hallgatók jegyzet formájában kézhez kapják.

A kihelyezett szabadegyetemi sorozatok is ide tartoznak. Említésre méltó a már évek óta élő sorozatunk a „Korunk tévhitei és a valóság” (6 előadásban). 1980 nyarán hirdettük meg komplex természettudományi sorozatunkat (szakosztályközi együttműködésben), a 8 előadásban budapesti asztronautikai vetélkedőre felkészítő „Ember és kozmosz” című összeállítást, amely a szovjet—magyar űrrepüléshez kapcsolódott.

A *XXIX. Csillagászati Hét* (7 napon át) naponta egy-egy teljes planetáriumi műsorral és 12 előadó közreműködésével, 2562 hallgató részvételével zajlott le. A program főcíme: „A csillagászat nagy rejtélyei”. A megnyitó előadáson, a központi témától eltérve a szovjet—magyar űrrepüléssel foglalkoztunk: az élménybeszámolót Farkas Bertalan és Magyarai Béla tartották. A Csillagászati Hét látogatottsága 6%-kal jobb volt, mint az 1979. évinek; a planetáriumi férőhelykihasználtság 93,8%-os volt.

A *tagdíjat fizető tagság* 61 fő, ebből 4 fő egyetemi hallgató és két tiszteletbeli tagunk van. (1980. december 31-i állapot.)

Foglalkoztatottság: az előző évekhez képest javuló tendenciát mutat. A szakosztály legaktívabb tagjai vesznek részt a klubesteken és az előadói konferenciákon. A nem TIT-tag állandó rendezvényi meghívottak (kb. 25 fő) zöme egyetemi hallgató. A szakosztály vezetősége 9 fő választott, 3 fő állandó meghívott (utóbbiak: a TIT Uránia és Planetárium, valamint a Föld és Ég szerkesztősége részéről).

A szakosztályi élet

- Csillagászklub: 6 alkalommal 7 előadás;
- egy hagyományos előadói konferencia a Budapesti Módszertani Napok keretében: 2 előadás;
- A MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztály Dokumentációs és

Asztronautikatörténeti Munkabizottságával közös rendezésben 3 alkalommal 5 előadás — előadói ülés;

- Az ELTE Csillagászati Tudományos Diákkörével közös rendezésben (2 alkalommal 4 előadásban) nyilvános diákköri ülés;
- VI. Csillagásznapi, közös rendezésben az ELTE Csillagászati Tan-
székével, az MTA Csillagvizsgáló Intézettel és a TIT Uránia Csillag-
vizsgálóval.

Egy speciális rendezvényi formával tettünk kísérletet: az „Asztro Klub-
bal”. A Föld és Ég, valamint az Élet és Tudomány c. folyóiratokkal
közös rendezésben két nyilvános, belépődíjas előadást tartottunk (3 elő-
adóval). A már említett intézményeken, szerkesztőségeken kívül jó
munkakapcsolatot alakítottunk ki a TIT Pest megyei Szervezetével (elő-
adók ajánlása, koordináció, programjainkra meghívók küldése).

A MTESZ KASZ-szal munkatervi koordinációt végeztünk, részleges
programegyeztetés történt a szakosztály és a TIT Uránia Csillagvizsgáló
között is. A TIT Budapesti Planetáriummal jó munkakapcsolat alakult
ki (Csillagászati Hét). A lehetőségekhez képest igyekszünk a társszak-
osztályokkal is együttműködni. A FÖMI KGO-val az „Ember és koz-
mosz” vetélkedő során (előadók biztosítása) az eddig is jó kapcsolatunk
csak erősödött.

Az 1979 végi szakosztályi Pasquich emlékülés anyagát előadói segéd-
anyagként megjelentettük 1980-ban (szakosztályi füzetek „B” sorozat).

Baranya megye

Beszámolónk elején kell arról szólnunk, hogy szakosztályunkat súlyos
veszteség érte. Az év folyamán váratlanul elhunyt elnökünk, dr. Balázs
László. Ő nemcsak a szakosztályi feladatok megoldásában fejtett ki
dicséretre méltó tevékenységet, hanem az amatőr megfigyelések, a táv-
csöves fényképezés terén is. Példás szorgalommal, szeretettel foglalko-
zott minden fiatallal, érdeklődővel és lelkesen adta át gazdag tapaszt-
alatait. Helyébe a TIT vezetősége Mezősi Csaba szakosztályi tagunkat
kooptálta.

Az eltelt év folyamán szakosztályunk tervszerűen végezte tevékeny-
ségét. Tagjaink vállalták és megtartották mindazokat az előadásokat,
melyeket a megyei és városi intézmények, üzemek kértek. Rendezvé-
nyeink száma az előző évhez viszonyítva emelkedést mutat. Előadási
tevékenységünk zöme a *Mecseki Természettudományi Stúdióban* össz-
pontosult. Elsősorban a planetárium helyiségében megrendezésre került
bemutatók, az épület előadótermében megrendezett előadássorozatok,
szakosztályi rendezvények érdemelnék kiemelését.

Legkiemelkedőbb rendezvénysorozatunk a Természettudományi Stú-
dió öt éves fennállása alkalmából rendezett, egy hónapig tartó, novemberi

sorozat volt. Ezúttal a többi természettudományi szakosztállyal is összehangoltuk előadásainkat, de az összes rendezvények 80%-át a csillagászati vonatkozásúak tették ki. Így a beszámolási időszakban Csillagászati Hét helyett *Csillagászati Hónapot* rendeztünk. Szinte kivétel nélkül a hónap minden napjára jutott néhány csillagászati rendezvény: planetáriumi előadás, filmvetítés, gyermekprogram, kiállítás, távcsöves bemutatás, kötetlen beszélgetés, szakköri foglalkozás vagy országos hírű előadók által megtartott előadás.

Másik kiemelkedő rendezvényünk szintén az öt éves évforduló alkalmából megrendezett „*Nemzetközi kisplanetáriumi találkozó*” volt. Erre az egyhetes programra a pécsi XXII. „Népek Barátsága” nyári egyetem sorozattal párhuzamosan került sor. Ennek során öt vitaindító előadás hangzott el. Ez a rendezvénysorozat — a külföldi hozzászólásokból is kitűnt — jól szolgálta a személyes kapcsolatok felvételét, a tapasztalatcserét, a planetáriumi előadások színvonalnövelését.

Megtartottuk a tervbe vett előadói konferenciákat, a vezetőségi és szakosztályi üléseket. Az Országos Választmány ülésein és rendezvényein — egy kivétellel — részt vettünk.

Tagságunkból 5 fő utazott a Csillagászat Baráti Köre XI. Országos Találkozójára. Annak vezetőségébe két tagunkat beválasztották a résztvevők. Több tagunk részt vett a Rókafarmon megtartott amatőr csillagász észlelőtábor rendezvényén. A székesfehérvári csillagászati vetélkedőn 5 fős csoporttal képviseltettük magunkat. Szakosztályunk sikeres tanulmányi kirándulást szervezett Pencre a Kozmikus Geodéziai Observatóriumba. Ezen 13 szakosztályi, illetve szakköri tagunk vett részt. Ismeretterjesztő tudósítások, cikkírás formájában kapcsolatot tartottunk a helyi sajtóval, rádióval.

Tagjaink részt vettek az *amatőr megfigyelési tevékenységben*. Vizsgálati eredményeinket eljuttatták az országos feldolgozó csoporthoz. Az országos kiadványokban több beszámolójuk megjelent. Az év végén elkészült a Természettudományi Stúdió kertjében épült, forgatható kupolájú távcsőépület. Ebben felállításra került a 40 cm átmérőjű tükrös távcsövünk.

Néhány 1980. évi rendezvényünk adatát az alábbiakban közöljük:

<i>Rendezvény</i>	<i>alkalmak száma</i>	<i>hallgatók száma</i>
Szakosztályi ülés	3	35
Előadói konferencia	3	48
Szakköri foglalkozás	31	610
Csillagászat Baráti Köre foglalkozása	33	820
Csillagászati Hónap kiemelt előadása	4	125
Planetáriumi előadás	356	11 122
Távcsöves bemutatás	17	1 360
Ismeretterjesztő előadás	125	3 800

Bács-Kiskun megye

Tevékenységünk középpontjában a szakmai ismeretek közlése mellett kiemelt célunk volt a világnézeti-politikai összefüggések megláttatása. Fokozott hangsúlyt fektettünk az ifjúság, főként az általános iskolai tanulók közötti ismeretterjesztésre. Igyekeztünk növelni az értelmiség számára tartott előadásaink számát.

Előadásaink zöme a hagyományos őszi *Csillagászati Heteken* hangzott el. 1980. október 13. és november 14. között hirdettük meg Bács-Kiskun megyében a Csillagászati Heteket. Járási-városi szervezeteinknek 6 témakörben 25 előadás címet ajánlottunk. A javasolt témákkal egyidőben megadtuk a számba jöhető választmányi, megyei és helyi előadók névsorát. Így 48 előadó között választhattak szervezőink. Az előzetes felmérés eredményeképpen járási és városi titkáraink kb. 140 előadást, rendhagyó fizika- és földrajzórát jeleztek vissza, de a november 14-ig ténylegesen megtartott csillagászati rendezvények száma ennél jóval több volt. A TIT Kecskemét városi szervezete „Univerzum '80” címmel 7 előadásból álló sorozatot szervezett.

A kiskunhalasi Vasutas Szakszervezeti Művelődési Házban Balogh István vezetésével működő szakkör október 14-én *Csillagászati Napokat* szervezett, igen szép kiállítással egybekötve.

Baja városi TIT szervezete az obszervatórium segítségével ifjúsági csillagászati szabadegyetemet szervezett 8 előadással. A szabadegyetemet mintegy 80 fő látogatta.

A rókafarmi észlelőtáborba 1 főt küldött a megyei szervezet. A szolnoki XI. CSBK-találkozón szakosztályunk részéről 10 fő vett részt.

Szakosztály-vezetőségi ülésünket a munkaterv szerint megtartottuk. 1980 februárjában a megyei ügyvezető elnökség előtt, majd 1980. február 27-én a Választmány vezetősége előtt számoltunk be 1977—79. évi tevékenységünkről.

Előadói konferenciák: 1980. február, Szalkszentmárton, 1980. július, Kiskunfélegyháza, 1980. november, Kecskemét.

Borsod megye

A szakosztály az 1980. évi munkatervében kitűzött feladatokat, célkitűzéseket nagyrészt megvalósította.

Szakosztályunk tagságának létszáma: 24 fő, vezetőségének létszáma: 7 fő.

Ismeretterjesztő előadásaink száma — bár még nem állnak rendelkezésünkre statisztikai adatok — nőtt, elsősorban az ifjúság, illetve a tanulóifjúság körében tartottaké, de népszerűek a fizikai dolgozók körében is.

A Csillagászat Baráti Köre tagságának száma az 1979. év végén 385 fő volt, 1980. december 31-re 512-re emelkedett. A baráti kör tagjai szak-körökben fejlesztik ismereteiket, távcsöveket építenek és az amatőr megfigyelési programban is részt vesznek.

A *Miskolci Uránia Csillagvizsgáló* a megyei csillagászati ismeretterjesztés központjává vált. Patronálja a megye csillagvizsgálóit, összefogja a baráti kör tagságát, segítséget ad a csillagászat iránt érdeklődőknek. A miskolci csillagvizsgálóban hétfőn a nagyközönségnek tartottunk előadásokat, szerdán a csillagász-szakkör, pénteken a kis csillagászok foglalkozása folyt. Más napokon iskolai tanulócsoportokat fogadtunk.

A megyében a következő helyeken működtek 1980-ban csillagászati szakkörök: Kazincbarcika, Művelődési Központ (Szilágyi Gábor); Leninvárosi Művelődési Központ (Szutor István); Miskolc, Rónai S. Művelődési Központ (dr. Szabó Gyula); Ózd, Népművelési Intézet (Almási Béla); Rudolftelepi Művelődési Ház (Pozsgai János); Szerencs, Művelődési Központ (Lapis István). A csoportok kiváló szakkörvezetőik irányításával igen szép munkát végeznek.

Sajnos az 1980-ban hirdetett csillagászati szabadegyetem nem indult be. Áprilisban az Uránia Csillagvizsgálókban megemlékezést tartottak az űrhajózás napjáról. Sikeres rendezvényünk volt az 1980. évi *Borsodi Csillagászati Hetek* is. Ez alkalomból a megye sok településére jutottak el előadók.

A legnagyobb esemény 1980-ban: Farkas Bertalan űrhajós látogatása, amely maradandó élmény volt számunkra.

A vezetőségi üléseket megtartottuk, bár azokon a részvétel nem mindig volt kielégítő. Sajnos az is előfordult, hogy a felelős helyett másnak kellett ellátni a feladatot. 1980. október 22-én szakosztályunk beszámolt munkájáról a Választmánynak. Tevékenységiünket pozitívan értékelték.

1980. július 3—6. között a Székesfehérvárott rendezett IV. Országos Csillagászati Vetélkedőn is részt vettünk. 1980. június 17-én a kis csillagászok és a szakkörök a rosznyói Uránia Csillagvizsgálóba (Szlovákia) tettek kirándulást.

Csongrád megye

Szakosztályunk elmúlt évi munkájában jelentős előrelépést hozott a vezetőségi tisztségek betöltésének hosszabb távra történő és megnyugtató megoldása. A szakosztály titkári funkciójával Paszt Györgyöt bíztuk meg, a Csillagászat Baráti Köre megyei elnökének dr. Kiss Józsefet, a baráti kör titkárának Hegedűs Tibort választottuk meg, illetve kooptáltuk.

Szoros kapcsolatot építettünk ki a Bartók Béla és a November 7. művelődési otthonokkal. Tovább erősítettük kapcsolatainkat a hódmező-

vásárhelyi TIT vezetéssel, valamint Kistelek csillagászat iránt érdeklődő közönségével. Számos közös programot állítottunk össze az Űttörő és Ifjúsági Házzal közösen. Létrehoztuk — mintegy 130 fős létszámmal — a szegedi sci-fi klubot, havonta programot biztosítva számukra.

A MTESZ Csongrád megyei szervezetével közösen több mint 1300 főt mozgósító kiállítást rendeztünk az űrkutatás és környezetvédelem témakörében, az Országos Környezetvédelmi Ankét időpontjában.

A csillagászati előadói vizsgára felkészített szakköreinkből több mint 10 személy tette le az előadói vizsgát. Jelentős létszámmal (8 fő) vetünk részt a XI. Országos Találkozón. Versenyző csapattal szerepeltünk a csillagászati szakkörök országos vetélkedőjén. A nyári időszakban az Alcor amatőr megfigyelő csoportunk tábort szervezett Ásotthalom térségében, 6—9 fő részvételével.

Az elmúlt évben utolsó alkalommal rendeztük meg a Csongrád megyei csillagászati szabadegyetemet, változó látogatottsággal. Ezért az év második felében új típusú előadási rendszerrel próbálkozva megrendeztük a *Csongrád megyei Csillagászati és Űrkutatási Napok* rendezvénysorozatát.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal közösen külföldi előadók meghívásával (szovjet egyetemi tanárok) űrkutatás — bolygó kutatás témaköréből előadást szerveztünk. Megyénk más településein is (Kistelek, Hódmezővásárhely, Zsombó) tartottunk előadásokat.

Általános iskolai *csillagászati szakköröket* hoztunk létre két iskolában. Új tendencia az iskolai kirándulásokhoz kapcsolódó budapesti planetárium látogatások növekvő száma (pl. Tápé, Kistelek, Zsombó).

A munkatervünkben kitűzött feladatok közül nem sikerült megvalósítanunk a termelő üzemekben tervezett előadásainkat, valamint az általános iskolások csillagászati vetélkedőjét. Továbbra is megvalósítandó feladatunk a JATE kulturális bizottságával kialakítandó munkakapcsolat, valamint a JATE által felállítandó csillagászati távcső ügyének előremozdítása. Az elmúlt években tervezett szegedi planetárium létrehozása úgy tűnik teljesen meghiúsult, az erre hivatott szervek érdekeltensége és az anyagi bázis hiánya miatt.

Fejér megye

A szakosztályunk elé tűzött célokat általában elértük. A csillagászati és űrkutatási ismeretterjesztés, valamint a természettudományos világnézetű nevelés mind az ifjúság körében, mind a fizikai dolgozók széles rétegében mennyiségileg és minőségileg egyaránt növekedett. Az ifjúság körében erősödött a szakköri mozgalom, s így az országos versenyen első helyezést értek el a szakköri tagok. Az értelmiség körében a tervezett feladatokat nem sikerült maradéktalanul végrehajtani. Az általános

és középiskolások aktivizálására irányuló propagandamunkánk erősödött. A témajavaslatok alapján növekedett a megyei iskolák és intézmények igénye a csillagászati és űrkutatás témájú előadások iránt. Különösen öröndetes a nyugdíjas klubok érdeklődése.

Az Ifjúság Házában „ifi napok” keretében tartott diaporámás előadások és távcsöves bemutatók nagy sikert arattak. A hagyományos „Velencei Nyár” rendezvényei bővültek az „ODOT” rendezvényekhez kapcsolódó csillagászati ismeretterjesztési bemutatókkal.

Megeye Urániánk látogatottságának növelése érdekében 1980-ban a megye összes iskoláinak és üzeineinek tájékoztatót küldtünk. Kezdeti eredményekről adhatunk számot, mert az elmúlt év folyamán több mint 2000 látogatónk volt. Urániánk a lelkes szakköri tagok munkáján keresztül végezte tevékenységét: a kollégiumok munkába való bekapcsolása, kiállítások szervezése (pl. Farkas Bertalan űrrepülése alkalmából), a Budapesti Művelődési Központban szemléltető anyagok bemutatása stb.

A Földmérési Főiskolával javult a kapcsolatunk. Kezdeti eredmény, hogy már csillagászati hetet tudtunk ott tartani.

A Választmány rendezvényein két-három fővel vettünk részt. A megyei rendezvényeken is két-három fővel képviseltette magát a szakosztály.

A tervezett vezetőségi üléseket megtartottuk.

A három tervezett előadói konferenciát nagy sikerrel rendeztük meg. Tanulmányi kirándulásokat és planetáriumi látogatást is szerveztünk.

Komárom megye

A szakosztály összetevékenységét, annak tartalmi és formai oldalát egyenletes fejlődés jellemezte. A Választmány vezetősége előtt 1980. május 15-én számolt be a szakosztály munkájáról. A vezetőség elismeréssel nyugtázta a megyei szervezet és a szakosztály elmúlt időszakai munkáját.

A hatékonyság fokozása érdekében az előadások szinte kivétel nélkül szemléltetéssel kerültek megtartásra. Változatlanul az ifjúság részére szervezett csillagászati-űrkutatási témájú előadások száma a legmagasabb, és ezek a leglátogatottabbak. Igen jó kezdeményezésnek tartjuk az iskolai tananyaghoz kapcsolódó *rendhagyó órák* szervezését.

A szakosztály taglétszáma bővült, az év végére elérte a 22 főt. Az aktivitás az átlagosnál jobb. Vezetőségi, szakosztályi üléseinket az éves munkatervnek megfelelően rendszeresen megtartottuk. A Választmány ülésein, központi előadói konferenciáin minden esetben részt vettünk. A TIT megyei, városi szervezetei és a szakosztály vezetősége között

kialakult kétoldalú és folyamatos kapcsolat eredményesen segítette munkánkat.

1980. évben a megyei művelődési központtal első ízben szerveztünk megyei jellegű *nyári észlelőtábort*. (1980. július 26—29., Gerecse, Somlyóvár.) A tábor lehetőséget nyújtott a kollektív amatőr munkára, az elméleti és gyakorlati képzésre, és a megyei csillagászati szakköri mozgalom fejlesztésére.

A megyei CSBK-mozgalom támogatása, a koordinatív feladatok végzése a szakosztályi tevékenység során hangsúlyozott kérdésként szerepelt. A bevezetett területfelelősi rendszer eredményeként a taglétszám az év végére elérte a 300 főt. A tagság részére ez évben Oroszlányban a Megyei Természettudományos Hetek keretében szerveztük meg a *IV. megyei CSBK-találkozót*.

Nógrád megye

Szakosztályunk ismeretterjesztő tevékenységét az éves munkaterv célkitűzéseinek megfelelően végezte. A beütemezett rendezvényeket, üléseket e tervnek megfelelően megtartottuk, a tevékenység belső arányait annak megfelelően igyekeztük módosítani. Gyarapodott azon rendezvények száma — elsősorban a fiatalok és az ifjűmunkások körében —, melyek jól szemléltetettek, és beszélgető, vitatkozó jellegűek voltak.

A *Csillagászat Baráti Köre* megyei taglétszáma tovább növekedett, jelenleg 128 fő. Az 1980. május 17-én megtartott salgótarjáni találkozót igen sikeres volt, mind szakmai, mind egyéb szempontokból. Az elhangzott négy előadás (budapesti előadókkal) s az ezeket követő beszélgetés jól szolgálta a felkészülést.

Ugyancsak megvalósult és sikeres volt az 1980. március 14-én megtartott plenáris ülés, s az ezt követő előadói konferencia. Kihelyezett szakosztály-vezetőségi üléseinket a programnak megfelelően megtartottuk, kettőt vidéken, kettőt Salgótarjánban.

Nagyobb rendezvényeink tapasztalatairól — a többi természettudományi szakosztályokkal együtt — 1980. december 22-én megyei elnökségi ülésen számoltunk be, melyen munkánkat kedvezően ítélték meg.

Összességében megállapítható, hogy célkitűzéseinket megvalósítottuk, s úgy érezzük, tevékenységünk hatékonysága tovább javult.

Pest megye

Célkitűzéseinknek megfelelően megyénkben tovább emelkedett a csillagászati és űrkutatási előadásaink és rendezvényeink száma, az előző évihez viszonyítva 16,5%-kal, 218-ról 254-re. Ezeken összesen 8420 hallgató vett részt. Rendezvényeink 80%-át *megyénk községeiben* tartottuk.

Szakszaktályunk eszköztára az év elején egy 63/840-es hordozható Zeiss Telementor csillagászati távcsővel gyarapodott, amellyel — elsősorban a gödöllői járásban — több alkalommal tartottunk igen nagy érdeklődés mellett távcsöves bemutatókat.

Az első magyar űrhajós, Farkas Bertalan űrutazása kedvező hatással volt űr kutatási témájú előadásaink számának emelkedésére. A hirtelen megnövekedett igények kielégítésére számos előadást tartottunk. A rác-kevei és gödöllői járásban széles körben kerültek bemutatásra az audio-vizuális műsorok, mint pl.: „Helyünk a Világmindenségben”, „A Naprendszer”, a „Táguló Univerzum” és „Űrállomások a Föld körül” címmel. A gödöllői járásban két közszéghen kiállítást is rendeztünk „Ember-ek a világűrben” címmel.

A tavasszal Ceglédre szállítottuk azt a 10 cm-es Metz-refraktort, amelyet szakszaktályunk kapott az ELTE Csillagászati Tanszékétől. Ez a távcső a ceglédi Művelődési Ház tetején került felállításra, az ottani szakkör kezelésében.

Taglétszámunk az 1980. év folyamán 2 fővel gyarapodott, jelenleg 22 fő. Az év folyamán előadóink szakmai továbbképzése érdekében két előadói ankétot rendeztünk, mindkettőt Nagykörösön: 1980. február 11-én „Az ember kozmikus lény” és 1980. október 20-án „Az űrrepülés orvosiológiai alapjai” címmel.

A TIT Budapesti Szervezete Csillagászati Szakszaktályával való együtt-működésünk eredményeként tagjaink rendszeres meghívást kapnak a budapesti szakszaktály előadói konferenciáira. Ezzel a lehetőséggel első-sorban a fővárosban és a főváros környékén élő tagjaink élnek. A buda-pesti szakszaktály a fővárosban meghirdette az „Ember és kozmosz” című vetélkedőt, annak kidolgozásában, az előadások megtartásában, valamint a vetélkedő kérdéseinek összeállításában a mi szakszaktályi tagjaink is kivették részüket. Együttműködésünk keretében lehetőség nyílt arra is, hogy megyénk két vállalatának csapatai is benevezzenek a fenti vetél-kedőbe. Ugyanakkor a budapesti szervezet tagjai is nagyszámú előadást tartottak megyénkben.

Kiemelkedő volt a csillagászati-űr kutatási ismeretterjesztés a gödöllői, a rác-kevei és a budai járásban, jó a váci járásban, Vácott és a monori járásban.

A Csillagászat Baráti Köre tagjainak száma is jelentékenyen — 60 fővel — emelkedett ez évben, és jelenleg 388 tagunk van. Sokan részt vettek közülünk a Szolnokon rendezett országos CSBK-találkozó-n. Összességében úgy íté-letjük meg, hogy eredményes, jó évet zártunk.

Szabolcs-Szatmár megye

Fontos célkitűzésünknek tartottuk, hogy az általános iskolás korú gyermekek körében megszerettessük a csillagászatot, és hozzájáruljunk az iskolák oktatási és nevelési célkitűzéseinek megvalósításához. Erre jó alkalom kínálkozott a baráti köri és a szakköri mozgalomban. Értünk el eredményeket, de tapasztalatunk az, hogy csak jól képzett ismeretterjesztőkkel érhetünk el nagyobb sikert.

A közös szovjet—magyar úrprogram az űrkutatásra irányította a társadalom szinte minden rétegének figyelmét. Fontosabb rendezvényeink témakörei is ehhez az eseményhez kapcsolódtak.

Az elmúlt évben is tovább emelkedett a *baráti köri tagok* száma. Sajnos a CSBK megyei vezetőjének személye két ízben is változott az utóbbi időszakban. Most legfontosabb feladatunk a megyéből eltávozott, vagy más okból inaktívvá vált tagok felderítése és törlése, új tagok szervezése. A baráti köri mozgalomban fontos feladatnak tartjuk baráti köri rendezvényeink által fokozni a szakmai összetartozást. Ennek eredményességét bizonyította a debreceni Napfizikai Observatóriumban és az egyetem ásványtani intézetében szervezett baráti köri kirándulás.

Az őszi *Csillagászati Hetek* és a *TIT Bessenyei György Szabadegyetem* jó alkalmat biztosítottak a csillagászat iránti érdeklődés további felkeltesére. A szabadegyetemi tagozat megszervezésében nagy segítségünkre voltak a MTESZ Eötvös Loránd Fizikai Társulat helyi csoportjai, a megyei művelődési központ és a TIT fizikai szakosztálya. A sikeres szervezés bizonyítéka: 40 fő iratkozott be a szabadegyetemi tagozatra. A 10 előadás átlagos hallgatói létszáma 28 fő volt.

A csillagászati ismeretterjesztés jó propagandája volt, hogy a megyei sajtó és rádió rendszeresen közölte programjainkat. Helyet biztosított szakosztályunk érdekesebb — a csillagászat jelenségeivel, eredményeivel foglalkozó — közleményeinek.

Előreléptünk a már említett szakköri munka irányításában és szervezésében is. A tanárképző főiskolán két igen jól működő szakkört sikerült szervezni. A rendszeres és komoly munkát dr. Gööz Lajos és Kancsura Árpád szakkörvezetők tevékenysége garantálja. A csillagászati előadóképzés is előreléphet megyénkben, amennyiben a felnőtt szakkörökből ismeretterjesztésre is alkalmas előadók kerülhetnek ki.

Szolnok megye

A szakosztály legfontosabb feladatának tartotta a *CSBK XI. Találkozójának lebonyolítását*. Az augusztus 21—24. között megrendezett találkozón a szakosztály valamennyi tagja részt vett.

Októberben Szolnokon *csillagászati hetet* rendeztünk, melynek kere-

tében négy előadás hangzott el, és három este a város különböző pontjain távcsöves bemutatót tartottunk — csillagászati filmek vetítésével egybekötve.

A bemutató csillagdával kapcsolatos, a TIT megyei szervezete és a szakosztály között évek óta tartó vitát sikerült lezárni, a megegyezés alapján a további irányítást a szakosztály tagjaiból kijelölt bizottság végzi. Minden remény megvan arra, hogy a bemutató csillagda 1981-ben megkezdje működését.

A Technikai-tudományos Üttörőszemlére való felkészülésben az általános iskolásokat (Szolnokon és a környező falvakban) kb. 60 úrkutatási témájú előadás megtartásával segítettük. Az iskolai házi vetélkedők anyagát a szakosztály állította össze, sok helyen a vetélkedők levezetésében is részt vállaltunk.

Tovább fejlődött a *Kis Csillagászok Baráti Köre*, mely a IV. Országos Csillagászati Vetélkedőn előkelő helyezést ért el.

Az előadásokon fokozottan érvényesült a szemléltető eszközök alkalmazása. Probléma, hogy az előadások döntő többségét 3—4 fő tartotta. Az előadások hallgatói általában iskolai tanulók, vagy ifjúsági klubok tagjai.

A tervezett szakosztályi üléseket megtartottuk, amelyeken nemcsak a szakosztály vezetősége vett részt, hanem valamennyi szolnoki szakosztályi tag is.

Sikerült olyan munkakapcsolatot kialakítani a megyei művelődési és ifjúsági központ természettudományi munkabizottságával, hogy minden nagyobb csillagászati rendezvényt közösen szervezünk és hajtunk végre.

Tolna megye

Szakosztályunk sok segítséget kapott társszakosztályainktól. A biológiai, a földtudományi, a filozófiai szakosztályok előadásai mind jobban kapcsolódnak a szakosztályunk által tartott előadásokhoz. Előadásaink iránt különösen a fiatalok körében nyilvánult meg nagy érdeklődés. Nagy részük középiskolások körében került megtartásra, de az előző évhez képest növekedett a fizikai dolgozók körében tartottak száma is. Igen nagy érdeklődés kísérte az „Úrállomások” című audiovizuális műsort. Nagy gondot fordítottunk az előadások szemléltetésére.

Önképzőkörünk részére rendszeres összejöveteleket szerveztünk. Biztosítottuk előadóink részére a nyári tanfolyamokon való részvételt, taglétszámunk növelése azonban nem sikerült.

A középiskolások részére sorozatot állítottunk össze, és a jegyzéket körlevél formájában küldtük ki az iskoláknak. Terveink szerint megszerveztük a *megyei amatőr csillagászok baráti találkozóját*, 24 fővel. Két előadás hangzott el. Ezután igen élénk eszmecsere alakult ki, és a résztvevők

megegyezték abban, hogy amennyiben a szekszárdi távcső felújítása befejeződik, úgy tavasszal is tartanak egy találkozót.

A *Csillagászati Hónap* rendezvényeit a szokásos időben, november 15. és december 15. között szerveztük meg. Az előadások nagy része az űrkutatás gyakorlati hasznával foglalkozott. Több előadást szerveztünk Bonyhádon, Tamásiban, Gyöngön, Pakson, Szekszárdon, Bátán, Decsen, Bátaszéken, Dombóvárott.

Az úttörők egy vetélkedő keretében az űrkutatás gyakorlati haszná téma körből versenyeztek. Mintegy 15 alkalommal tartottunk előadást e téma körből. Előzetes adataink szerint ebben az évben 63 előadást szerveztünk.

A távcsöves bemutatók szervezése a nyár közepéig a tervezettnél megfelelően alakult, de ekkor a sorozatos elköltözések miatt megszűnt. Nem sikerült megoldani a bonyhádi távcső működtetését, s a szakköri szervezés területén sem tudtunk előbbre lépni, így a megyében egyetlen szakkör sem működött.

A tervezett három vezetőségi ülés helyett kettőt tartottunk.

Vas megye

Szakszervezetünk 1980. évi fő célkitűzései a következők voltak: növelni az alapozó természettudományi — így csillagászati és űrkutatási — rendezvényeink mennyiségét Vas megye területén; a tartalmi munkában törekedni a világnézetű nevelés hatékonyságának emelésére; a rétegekhez szóló tematikákkal is növelni munkánk hatékonyságát.

A feladatok megvalósítása érdekében szakszervezetünk vezetősége téma javaslatot készített és juttatott el a járási, városi szervezetekhez további felhasználás céljából. Felhívtuk a figyelmet azon területekre, ahol feltétlenül kívánatos az előadások számának emelése. Az 1979. évi 27 előadással szemben az 1980. évben 57 csillagászati és űrkutatási előadást tartottunk Vas megye területén. Az emelkedés Szombathely város és a szombathelyi járás területén volt jelentősebb. Szombathely peremkerületi ifjúsági klubjaiban elértük, hogy csillagászati és űrkutatási előadásokat is felvegyenek programjukba.

Jelentős előrelépés volt 1980-ban a *csillagászati és űrkutatási szabadegyetem* beindítása Szombathelyen, valamint egy 5 előadásból álló csillagászati sorozat Celldömölkön.

A második félévi fellendülés a megyei művelődési központban beinduló munkának köszönhető. Az új művelődési központ ugyanis új munkatársat kapott, Vértés Ernő személyében s az ő — Veszprém megyéből már ismert — lelkes munkájának köszönhető, hogy Vas megyében is megindult a csillagászati ismeretterjesztés. Ez elsősorban a művelődési központban mérhető, ahol 1980 őszén amatőr csillagászati

kör, ifjúsági szakkör is létrejött, s soha nem tapasztalt érdeklődés mellett rendezték meg a *csillagászati hét* előadásait, sajnos nem a TIT közreműködésével.

Vértés Ernő bekapcsolódott a TIT szakosztály munkájába, sőt 1980 novemberében a Szombathely városi elnökség kooptálta is tagjai sorába.

A Csillagászat Baráti Köre 78 fővel működik Vas megyében. Egy kis létszámú csoportja rendszeresen összejöveteleket tart a szombathelyi Gothard Obszervatóriumban, szakosztályi elnökiünk segítségével.

Szakosztályunk létszáma változatlanul kevés. Előadó utánpótlás nincs. Szakosztályunk vezetősége közreműködött az új TIT-székház természet-tudományi termének megtervezésében, s folyamatosan segíti a szükséges eszközök igénylésének összeállítását is.

Szakosztályunk fizika-kémia-matematika-csillagászati összevont szakosztály keretében működik. Ez év folyamán két alkalommal tartottunk vezetőségi ülést.

Veszprém megye

A megyei szakosztály 1980. évi munkáját vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a munkatervet összességében teljesítettük.

Az előadások száma növekedett, annak ellenére, hogy a keszthelyi járást Zala megyéhez csatolták. Igen eredményesnek tartjuk az általános iskolák számára, a tananyag bővítése érdekében folytatott tevékenységünket. A megyében több helyütt — Berhida, Ősi, Fűzfőgyártelep, Veszprém — sikeres munkát végeztünk e téren. Ugyancsak nagy jelentőségűnek ítéljük a szakmunkásképző intézetekben folytatott ismeretterjesztő tevékenységünket, amelyet a TIT komplex programjai alapján tartunk. Igen fontos és eredményes a fizikai munkások körében folytatott ismeretterjesztő tevékenység, amelyet *kihelyezett munkások-akadémiai sorozatok* keretében végzünk.

Farkas Bertalan űrrepülése idején, és azt követően a megyében több helyütt aktuális ismeretterjesztő előadásokat tartottunk.

A vezetőségi üléseket megtartottuk, a munkaterv szerinti témák kerültek napirendre. Kiadtuk a TIT megyei szervezetével közösen az előadássorozat tematikáját a nagyobb művelődési központok számára.

A titkári teendőket Horváth Ferenc, a baráti körű ügyintézői munkákat Gubicza László látja el. A XI. Országos Találkozón megyénket 16 fő képviselte.

A megyei baráti körű találkozót sok résztvevővel tartottuk meg, aminek eredményeként a jelenlegi létszám 250 fő felett van.

Megrendeztük a *II. országos amatőr megfigyelési tábor* 30 fő részvételével. A megyében több helyütt rendeztünk élénk érdeklődés mellett csillagászati heti programot, Veszprémben ez idő alatt kiállítást is rendeztünk.

Zala megye

A szakosztály növekvő intenzitással végezte munkáját. Gyakran iskolákban, kollégiumokban, községi kultúrotthonokban és üzemekben is tartottunk előadást. Az előadásokat a TIT által kiadott diasorozatokkal és egyéb anyagokkal igyekeztünk szemléltetni. A földtudományi szakosztállyal közösen felhívással fordultunk az iskolákhoz, segítségünket ajánlottuk fel előadások, szakkörök tartására.

Zala megyében évek óta megrendezzük az *Őszi Természettudományi Hónapot*. (Ezen rendezvénysorozat foglalja magába a *Csillagászati Hetet* is.) Tavaly a természet- és környezetvédelem jegyében rendeztük a természettudományi hónapot. Több helyen kiállítást, előadói konferenciát tartottunk. Ilyen volt. pl. „Az élet bolygója”, melyet a TIT Stúdiótól kaptunk kölcsön.

Az idén a szovjet—magyar közös űrrepülés volt a fő téma. Zalaegerszezen, Nagykanizsán és Hévízen „Szovjet—magyar közös űrrepülés fotókon” címmel előadásokkal egybekötött kiállítást tartottunk. Zalaegerszezen és Nagykanizsán 2,5—3 ezer diák tekintette meg az űrkutatási és csillagászati mozgófilmeket. Nagykanizsán az úttörőházban az ott működő baráti kör csillagászati szakkönyvekből kiállítást rendezett, előadással egybekötve.

A szakosztályi munkában az 1977. év a fordulat éve, mert ekkor került átadásra Zalaegerszezen a 407. sz. Ipari Szakmunkásképző Intézet udvarán egy 2100/300-as Newton-refraktor. Kezdetől fogva nagy az érdeklődés. Az eltelt 3 évben az előadásenkénti 40—50 fős átlag a jellemző.

A szakosztály létszáma ez idő alatt 8-ról 15 főre emelkedett. A CSBK megyei tagjainak száma 250 fő. Zalaegerszezen és Nagykanizsán hente vannak szakköri rendezvények. Nagykanizsán is folyamatban van egy távcső megépítése.

A CSILLAGÁSZAT LEGÚJABB EREDMÉNYEIBŐL

A neutrínó tömege

1980 egyik legnagyobb felfedezése, amely alapjaiban változtathatja meg a Világegyetem szerkezetéről alkotott elképzeléseinket, nem a csillagászat, hanem a részecskefizika szűkebben vett tudományterületén történt. Különböző és független kísérletekkel *sikerült kimutatni a neutrínó nyugalmi tömegét*. A legnagyobb pontosságú mérést a Szovjetunióban, a SZUTA Kísérleti és Elméleti Fizikai Kutatóintézetében V. A. Ljubimov és csoportja (E. G. Novikov, V. Z. Kozik, E. F. Tretyakov, és V. Sz. Nozik) végezte; 6 éven át tartott, amíg a *trícium* (a hidrogén hármas tömegszámú izotópja) *béta-bomlásakor felszabaduló elektronok energiaeloszlásának tanulmányozásával* elérték a kívánt eredményt. A bomláskor egy hármas tömegszámú héliummag, egy elektron és egy antineutrínó keletkezik, a felszabaduló $18,6 \text{ keV}$ ($\approx 3 \times 10^{-15} \text{ J}$) energián az elektron és az antineutrínó osztozik. Ha tehát megmérjük az elektronok energiaeloszlását, elvileg megállapítható, hogy ez a teljes energiafelszabadulás nagyságáig terjed-e, vagy valamivel hamarabb befejeződik — ekkor a hiányzó energia a neutrínó nyugalmi tömegének előállítására fordítódik. A kísérlet rendkívüli gondosságot igényel, bár nem szükségesek hozzá drága és nagy berendezések. Az eredmény: $14 \text{ eV} < m_\nu < 46 \text{ eV}$, avagy $m_\nu \approx 6 \times 10^{-32} \text{ g}$.

Ennek a kicsiny tömegnek óriási jelentősége van. Egyáltalán az, hogy nullától különböző, lehetővé teszi, hogy a különböző (elektron-, müon-, tau-) neutrínók egymásba, külső behatás nélkül átalakuljanak. Ezt az ún. neutrínóoszilláció jelenséget mutatta ki F. Reines amerikai fizikus, és ez egyből magyarázattal szolgálna a *napneutrínók* kimutatásának csekély eredményességére. A legújabb elméleti modellszámítások a Napból jövő neutrínóáramra kb. 5 SNU (1 SNU = Solar Neutrino Unit = Nap Neutrínó Egység, azaz 10^{-36} befogás atomonként és másodpercenként a céltárgyban) értéket adnak, a mérések eredményei azonban makacsul 1,8 SNU körül ingadoznak. A Napból jövő elektron-neutrínó áram azonban a neutrínóoszilláció miatt útközben részben más, müon- és tauneutrínókká alakul, a kísérleti berendezés viszont

csak elektronneutrínókra érzékeny. Ezzel a mért értékek természetes magyarázatot kapnak, és nem kell különleges napmodellekhez folyamodni az értelmezéshez.

A neutrínó tömegével már meg lehet magyarázni a „hiányzó tömeg” rejtélyét is. Galaxishalmazok és extragalaxisok megfigyelésénél feltűnt ugyanis, hogy a rendszerek össztömege — amelyet az egyes tagok mozgássebessége alapján határoztak meg — többszöröse annak, mint amit az egyes galaxisok vagy csillagok tömegének összeadásával kaptak. Ezt a hiányzó tömeget többféle módon próbálták megmagyarázni, sötét gáz- és porfelhőkkel, sőt fekete lyukakkal, de a neutrínótömeg erre is magyarázatot ad.

A felfedezés leglényegesebb hatással azonban a kozmológiára van. Ez utóbbi egyik alapvető kérdése a *nyílt vagy zárt Világegyetem*, azaz, hogy a jelenleg megfigyelhető tágulás az idők folyamán visszafordul-e. Erre a kérdésre a Világegyetem átlagos sűrűsége ad választ. Jelenlegi ismereteink szerint a kritikus sűrűség kb. 10^{-29} g cm⁻³. Ha csak a látható anyagot vesszük, ennek sűrűsége kb. $3 \cdot 10^{-31}$ gcm⁻³, tehát a kritikusnál kisebb: ez állandóan táguló Világegyetemet jelent. Ha viszont figyelembe vesszük, hogy a Világegyetem minden köbcentiméterében több száz neutrínó található, az említett igen kicsiny tömeg ellenére is ez válik uralkodóvá, és ez elegendő a Világegyetem zártságához. A jelenlegi tágulás ezek szerint néhány milliárd év múlva megáll, visszafordul, és zsugorodás váltja fel, végül jelenlegi Világegyetemünk ismét egy pontszerű szingularitásba zuhan össze, amelyből újabb ősrobbanással egy új Világegyetem keletkezhet, és így tovább...

A neutrínó tömegének felfedezése mutatja, hogy milyen közvetlen összefüggés van a legkisebb, legmegfoghatatlanabb részecske és az egész Világegyetem között. Egyben más tanulságokkal is szolgál: az, ami mérhetetlenül kicsiny, nem okvetlenül nulla, és nemcsak óriási és drága berendezésekkel lehet alapvető fontosságú felfedezéseket tenni. Az említett kísérletek természetesen felbolygatták az egész részecskefizikát, most lázasan folyik a mérések független ellenőrzése, de a fizikus közvélemény szerint nem valószínű, hogy hiba történt.

Többszörös kvazárok és gravitációs lencsék

Az általános relativitáselmélet egyik következménye, a *fénysugár elhajlása gravitációs térben*, lehetővé teszi az ún. gravitációs lencsék létezését. F. Zwicky és A. Einstein már 1936-ban közzétették elképzeléseiket, hogy a majdnem egy látósugáron elhelyezkedő extragalaxisok esetében a közelebbi vonzása a távolabbi helyzetű képeknek megkettőződését okozhatja. Einstein arra is rámutatott, hogy — figyelembe véve a

Világegyetem tényleges fizikai jellemzőit — ennek a jelenségnek az észlelése nem túl valószínű.

A *gravitációs lencse* gondolatának újbóli felbukkanását az indokolta, hogy 1979 márciusának végén D. Walsh, R. F. Carswell és R. J. Weymann a Kitt Peak Observatórium 2,1 méteres távcsövével színképfelvételeket készített a *0957+561 A, B ikerkvazárról*, amely az Ursa Maior csillagképben található. Azelőször a rádiótartományban felfedezett kvazár helyén a látható színek tartományban két 17^m fényességű kékes objektumot találtak, $6''$ távolságra egymástól. A színképfelvételek tanúsága szerint az ikerkvazárok vöröseltolódása $z=1,4$, azaz 70,7% fénysebesség. Kvazároknál ez nem számít különösen nagyknak. A különlegesség az volt, hogy *a két színekép* (az észlelési bizonytalanságokat leszámítva) *tökéletesen azonos volt!* Már szoros közelségük is feltűnt, mert az eddig ismert nagyjából 1500 kvazár egyenletesen oszlik el az égbolton. Így kb. minden 30 négyzetfokra jut egy kvazár, tehát a $6''$ -es távolság eleve valamilyen kapcsolatra utal. A színeképek alapján az „ikrek” jobban hasonlítottak egymásra, mint bármely két kvazár. A ketős kvazár hipotézis hamar ellentmondásba került a megfigyelésekkel. Újabb színképfelvételek és rádióészlelések (a VLA nagy rádiótávcsőrendszerrel, valamint fényképek a Hawaii-szigeteken 4200 m magasban elhelyezett 2,2 méteres távcsövel) fontos eredményt hoztak: *sikerült megtalálni azt a galaxist, amely a fénysugarak elhajlását okozza.* A galaxis majdnem beleolvad az ikerkvazár déli komponensének képébe, attól $1''$ -re van. Vöröseltolódására $z=0,4$ adódott, ebből következően kb. félúton lehet a kvazár és a Naprendszer között. Az elméleti számítások ezután már a gravitációs lencse jelenségét tartották legvalószínűbb magyarázatnak. Eszerint a galaxis, mint „lencse”, a kvazárról három képet ad, amelyből a két déli gyakorlatilag egybeesik.

A gravitációs lencse jelenségének kimutatása fontos következményekkel jár: komoly ellenérv a kvazárok lokális, „helyi” jellege ellen, ugyanis *kétségtelenné teszi, hogy a kvazár távolabb van, mint a lencsehatást kifejítő galaxis.* Természetesen itt is sokat jelentene, ha sikerülne más, hasonló objektumokat is találni. 1980 tavaszán felfedeztek egy *tripla* kvazárt, a *PG 1115+08* jelűt. A Leo csillagképben elhelyezkedő „hármaskvazár” fényessége $15^m,8$, vöröseltolódása $z=1,72$, de a fényesebb komponens és a két halványabb közt $2^m,5$ fényességkülönbség van. A színeképek teljesen azonosak, de ebben az esetben még nem sikerült a lencse szerepét játszó objektum nyomára bukkanni.

Összekötő kapocs a kvazárok és a BL Lacertae objektumok között

Rendkívül érdekes tagjai az extragalaktikus világnak a *BL Lac típusú objektumok*. Öt fő tulajdonságuk van: nagyon gyenge vagy hiányzó fényes színekpvonalak, erős változékonyság, nem hőmérsékleti eredetű folytonos színekp, erős, változó fénypolarizáció és átlagban a kvazárokénál vörösebb szín. Nemrég sikerült egy olyan objektumot találni, amely BL Lac és kvazár tulajdonságokkal egyaránt rendelkezik. A szóban forgó *0856+51W1 jelű rádióforrást* 1975. január 4-én egy 19^m 5 fényességű csillaggal azonosították, de egy hónappal később fényessége már elérte a 15^m 7-t. Ezután H. Arp és W. L. W. Sargent az optikai tartományban, A. G. Willis és C. E. Oosterbaan a westerborki szintézis-rádiótávcsővel követték viselkedését. Az objektum erős kifényesedéseket mutatott, a kitörések közt 20^m körüli fényességű volt. Színe sokkal vörösebb, mint a kvazároké: minimumban még a legtöbb BL Lac objektumnál is vörösebb. A színindex maximumban 1,63 (ami a 3C345 és 3C454,3 változó kvazárokéhoz hasonló), minimumban, a BL Lac-hoz hasonlóan 2,83. A rádiószínekp a BL Lac objektumokra emlékeztet. Az optikai színekp a kitörések idején BL Lac típusú folytonos spektrum, de az objektum fényének 19^m alá csökkenése után kvazár típusú, fényes vonalakkal rendelkező színekppé alakul át. Vöröseltolódása $z = 1,86$. A felsoroltak arra mutatnak, hogy a 0856+51W 1 objektum — mint összekötő kapocs — a kvazárok és a BL Lac objektumok közti fizikai összefüggésre utal, bár ennek mibenléte még nem világos.

Gázhéjak elliptikus galaxisok körül

D. F. Malin és D. Carter az angol-ausztrál Schmidt-távcsővel az elliptikus galaxisok környezetét vizsgálták, és a Malin által kifejlesztett speciális fényképmásolási technikával *igen halvány és rendkívül nagy méretű gázhéjakat találtak néhány galaxis körül*. A héjak felületi fényessége kb. $27-30^m$ négyzet-ívmásodpercenként (!), s némely galaxist több, koncentrikus héj vesz körül. A legkülsők távolságára a galaxis magjától kb. 180 kpc adódik. Eddig az M89, NGC 1316, NGC 1344, NGC 1395 és NGC 3923 körül sikerült kimutatni ilyen héjakat. Ezek mind egyedülálló galaxisok; a halmaztagok gravitációs vonzása eltűntette volna a gömbhéjakat. Fizikai természetük még nem világos: vagy fényvisszaverő porködök, vagy — ami valószínűbb — csillagokból álló héjak, amelyek a galaxisok korábbi kitörései alkalmával kidobott anyagból képződtek.

A legkisebb spirálgalaxis

A kis NGC 3928 (vagy Markarjan 190) jelű extragalaxis több katalógusban elliptikusként szerepelt, bár színindexe nem erre mutatott. S. van den Bergh a Hawaii-szigeti kanadai-francia 3,6 méteres távcsővel kiváló látási viszonyok között készített egy felvételt róla, ennek alapján a galaxis *határozottan spirális szerkezetű*. Megfigyelője szerint a távolsági adatokat figyelembe véve az NGC 3928 a legkisebb méretű, fejlett spirálkarokkal rendelkező galaxis, átmérője mindössze 8 kpc.

Extragalaktikus gammasugár-kitörés

A gammasugarakat a földi légkör elnyeli, így megfigyelésük csak balonokról vagy űreszközökről lehetséges. Már egy évtizede, hogy a Vela mesterséges holdak először észlelték a világűrből érkező gammasugár-impulzusokat; eddig kb. 100, néhány másodperces tartamú sugárzás-növekedést sikerült megfigyelni. Az eddigi impulzusok eredetét nem sikerült megállapítani. 1979. március 5-én azonban a Naprendszer széles területén szétszórt 9 űreszköz észlelt egy szokatlanul nagy energiájú gammakitörést az 50keV — 1MeV ($8\text{--}160 \times 10^{-15}$ J) tartományban. A beérkezési idők alapján egy ívperces pontossággal sikerült megállapítani a forrás helyét. A kitörés az eddig észlelteknél mintegy százszor nagyobb energiájú volt, a kezdeti impulzus mindössze 0,0002 másodpercig tartott, ezt egy kb. 3 percig tartó és kb. 8 másodperces periodikus ingadozást mutató sugárzás követte. A kitörés iránya meglepetéssel szolgált, ugyanis egyértelműen a Nagy Magellán Felhőben található N49 jelű szupernóva-maradványra mutatott. A távolságadatokat figyelembevételével ez több mint 10^{37} W csúcsteljesítményt jelentene, ami a kvazárok nagyságrendjébe esik. Másfelől az igen rövid időtartam miatt a forrás átmérője nem lehetett nagyobb 60 km-nél. Elméleti magyarázatul a szupernóva-maradvány közepén levő neutroncsillag rezgéseit hozták fel, a sugárzás lecsengését pedig a rezgő neutroncsillagból a gravitációs hullámok által elvitt energiavesztéssel magyarázták. Más elmélet a pulzációt a neutroncsillag forgásával magyarázza.

A lokális galaxiscsoport új tagjai

A mi Tejútrendszerünket is magába foglaló helyi (lokális) csoport a jól ismert fényes Androméda-ködön, M33-on és a Magellán Felhőkön kívül más apró galaxisokat is tartalmaz. Ezek közül a leghalványabb a Pisces csillagképben levő LGS3 jelű. Ennek felületi fényessége a cent-

rumában is csak 25^m négyzetívmásodpercenként, tehát az éjjeli égbolt fényességénél kb. 1%-kal nagyobb. Nagy látszó méretei miatt azonban az összfényessége eléri a 15^m -t. Az LGS3 jelű törpegalaxis távolságára R. Schild 220 kpc értéket kapott, ennek megfelelően átmérője 180 pc.

Az arecibói rádiótávcsővel nagy sebességű semleges hidrogénfelhők után kutatva R. Giovanelli a helyi csoport három új tagját fedezte fel az Orion — Monoceros csillagképek vidékén, mint a Tejútrendszerből 250 kms^{-1} -nél nagyobb sebességgel távolodó hidrogénfelhőket. Kettőt ezek közül egyértelműen törpegalaxisokkal sikerült azonosítani, a harmadik optikai megfigyelését lehetetlenné teszi a túl közel eső Betelgeuse fénye, de a rádióadatok kétségkívül egy közeli törpegalaxisra utalnak.

Halmazok a Tejútrendszerben

Az Európai Déli Obszervatórium (ESO) nagy Schmidt-távcsőjével eddig felfedezett objektumok közül külön említést érdemel a GCl 0422—213 jelzést kapott gömbhalmaz az Eridanus csillagképben. Legfényesebb csillagai csak a 19^m fényességet érik el, R. M. West és R. A. Bartaya vizsgálatai szerint ezek K típusú szuperóriások. A halmaz távolságára 83 kpc adódott, ez távolabb van, mint a Magellán Felhők! Ugyanakkor a mért kis radiális sebességadatok kétségtelenné teszik, hogy a halmaz a mi Tejútrendszerünkhöz tartozik. Távolsága mellett a GCl 0422—213 abszolút értékben is halvány, a kb. 40 000 csillagot magába foglaló halmaz abszolút fényessége mindössze -4^m !

A gömbhalmazok korát jelenleg 13—14 milliárd évre becsüljük, míg a legöregebb nyílthalmaz — az eddigi megállapítások szerint az NGC 188, az Ursa Maior csillagképben — csak 5 milliárd éves. Több kutató gyanúba vette az egyébként nem túl jelentős Melotte 66 jelű nyílthalmazt a Puppis csillagképben, hogy szintén nagyon idős. A részletes vizsgálatok eredményeképpen a 3020 pc távolságra levő halmaz életkorára a szín—fényesség diagramból 6—7 milliárd év adódott. Ez legalább egy-milliárd évvel több, mint az NGC 188 kora.

Flamsteed-féle szupernóva?

1948 óta ismert a *Cas A rádióforrás*, amely egyértelműen szupernóva-maradvány. Az optikai tartományban végzett mérések alapján a halvány ködfolt tágulása kezdetének az 1653-as év adódott. Ugyanakkor az eddig ismert adatok szerint ebben az időben nem láttak fényes szupernóvát. Magyarázatként az kínálkozott, hogy vagy a csillagközi fény-

elnyelés vagy más okok miatt a szupernóva látszó fényessége nem haladta meg a +2 magnitúdót.

W. B. Ashworth, jr. szerint mégis akadt valaki, aki észlelte ezt a szupernóvát. John Flamsteed-nek 1725-ben Greenwichben kiadott csillagkatalógusa tartalmaz egy 6^m fényességű objektumot, amelyet ma 3 *Cassiopeiae*-nek neveznek, és amelynek koordinátái majdnem egybeesnek a Cas A rádióforrásáival. A csillagkatalógus 1835-ös újrakiadásakor már felfigyeltek rá, hogy a 3 Cas jelű csillag nem látható az égen, de akkor nem sikerült az eredeti megfigyelések nyomára bukkanni. Most Ashworth megtalálta Flamsteed 1680. augusztus 3-i feljegyzését a 3 Cas megfigyeléséről, és újra kiszámította a csillag helyzetét. Az új számítás eltérése a Cas A tágalási középpontjától 9'7, ami bár elég nagy, de nem valószínűtlen érték.

Az SS 433

Az SS 433 jelű objektum 1978-ban került az érdeklődés középpontjába, bár különböző észlelései már korábban ismeretesek voltak. B. Margon összefoglaló cikke nyomán a kutatás jelenlegi helyzete a következő. Az első gyanús jelet az objektum különleges természetéről az objektív-prizmás felvételek mutatták. C. B. Stephenson és N. Sanduleak 1977-ben tett közzé egy listát, amelyben fényes, emissziós vonalakat tartalmazó színeképű csillagok találhatók. Ezen a listán a 433. számú a szóban forgó, 14^m fényességű csillag az Aquila csillagképben, innen az SS 433 jelölés. Más hullámhosszakon is megfigyelték az objektumot, a cambridge-i rádiócsillagászok 4C04,66 jelzéssel katalogizálták, sőt, ez a rádióforrás a nagykiterjedésű W 50 jelű szupernóva-maradvány közepén helyezkedik el. A forrás fizikai jellemzői a szupernóva fellobbanására kb. 10 000 évvel ezelőtti időpontot adnak. Később a röntgentartományban két mesterséges hold is felfedezte az SS 433-at, az Uhuru megfigyelései alapján 4U1908+05, az Ariel V listáján az A1909+04 jelet kapta. Végül 1978 nyarán új, pontosabb megfigyelések kiderítették mindeme forrásoknak az azonosságát. Egy objektum, amely rádióforrás, röntgenforrás, csillagszerű, és egy szupernóva-maradvány közepén helyezkedik el, valószínűleg egészen különleges. Az optikai színekép valóban különösen erős fényes színeképvonalakat tartalmazott. Ezekből néhányat könnyen lehetett azonosítani mint hidrogén- és héliumvonalakat, de mások egészen szokatlan helyen voltak, és változtatták helyzetüket a színeképben belül. Ráadásul *egyes vonalak a színekép vörös vége irányába, mások a kék vége irányába mozdultak el* jelentősen, néhány nap alatt. Ez a változás 164 napos periódusúnak bizonyult, de ha Doppler-effektussal magyarázták a vonaleltolódást, óriási sebességek adódtak.

Végül az 1978 júliusától 1980 júliusáig terjedő megfigyelési anyag alapján sikerült egy modelt kidolgozni, amely magyarázatot ad a színképvonalak különös viselkedésére. Eszerint az SS 433-ban egy *központi, igen sűrű objektum* helyezkedik el, valószínűleg neutroncsillag, amelyből a forgástengelye mentén *két, ellentétes irányú és hatalmas sebességű gáz-sugár áramlik ki*. A neutroncsillag forgástengelye lassú *precessziós mozgást* végez, ennek periódusa a 164 nap. A modell alapján a precessziós tengely a forgástengellyel 20° -os, a Földre néző iránnyal 80° -os szöget zár be, a gázugarak sebessége $78\,000\text{ km s}^{-1}$, azaz a fénysebesség 26% -a. Emiatt a relativitáselméletből következő „*időtágulás*” is megfigyelhető, ez $12\,000\text{ km s}^{-1}$ -nek megfelelő állandó vörösetolódást okoz a „stabil” színképvonalaknál; ha ez valóban radiális sebesség lenne, jóval meghaladná a galaktikus szökési sebességet. A gázugarak anyagát valószínűleg a neutroncsillaggal kettős rendszert alkotó normális csillagból kiáramló anyag szolgáltatja. Sikerült kimutatni a „stabil” színképvonalak 13 napos periódusú, 70 km s^{-1} -nek megfelelő amplitúdójú változását. A színképi megfigyelések szerint a kiáramló gázugarak nagyon keskenyek, szélességük nem nagyobb egy-két foknál. Keletkezésük mechanizmusa jelenleg ismeretlen. Az SS 433 távolsága tőlünk kb. 4 kpc, figyelembe véve a Tejútrendszer átmérőjét (30 kpc), nem túl távoli. Ebből meghatározható a felszabaduló energia mennyisége is, a teljesítményre 10^{32} W adódik, a Nap teljesítményének milliószorosa. A legújabb mérések szerint az 164 napos periódus évi 0,4 napos gyors csökkenést mutat, ami a jelenség rövid időtartamára utal.

A legforróbb fehér törpe

A szóban forgó csillagot űreszközökkel történt megfigyelések alapján fedezték fel. A Skylabról készített felvételeken a *HD 149499* jelű, az Ara (Oltár), csillagképben található sárga csillag szokatlanul fényes volt az ibolyántúli tartományban. Ez a tény egy forró kísérőre utalt. A K0 típusú, $8^m.7$ fényességű csillagnak valójában már 1929-ben felfedezték a tőle $2^s.4$ -re levő, $11^m.9$ fényességű kísérőjét. A kísérő csekély abszolút fényessége ($+9^m.5$) és igen kék színe fehér törpére volt jellemző. Az IUE műhold ibolyántúli mérései alapján a *csillag felületi hőmérséklete $85\,000\text{ K}$ -nek adódott, amely az eddig ismert fehér törpecsillagok közt a legmagasabb*. A HD 149499 B az ötödik legfényesebb fehér törpe, és abból a szempontból is érdekes, hogy színképében hidrogén- és héliumvonalak egyaránt megtalálhatók. A kettős rendszer kb. 30 pc távolságban van, a komponensek távolsága egymástól 60 cs. e. A kettős rendszer kerin-gését tanulmányozva a fehér törpe komponens tömegét közvetlenül is meg lehetne határozni, amire ritkán nyílik alkalom.

Vörös óriáscsillagok

P. Baize az előző bekezdés végén említett módszerrel határozta meg 5 vörös óriás adatait. Ezek olyan, évszázados periódusú kettős rendszerek tagjai, amelyeknél a komponensek elmozdulásaiból már pályát lehetett számítani. A csillagok közül kettő — maga a Mira (o Ceti) és az X Ophiuchi — mira típusú változó, a másik három (az η Geminorum, az Antares = α Scorpii és az α Herculis) szemireguláris.

Baize a Mira távolságára 173 pc értéket kapott, tömegére 15,7 nap-tömeget. A csillag 0^h053-es látszó átmérője a Nap sugarának 983-szorosát jelenti, azaz az egyik legnagyobb méretű csillag. A Nap helyére képzelve majdnem a Jupiter pályájáig érne a felszíne. Az Antares és az α Her távolságára 89 és 137 pc adódott. Ezeknek szintén ismert a látszó átmérője, így kiszámítható a valóságos átmérőjük: a Napénak 394-szerese (Antares), illetve 457-szerese (α Her). A csillagok tömegei (nap-tömegben): Antares = 15,5; α Her = 15,8; η Gem = 13,6 és X Oph = 15,9. Baize szerint tehát a mira típusú változók és közeli rokonaik, a szemireguláris vörös változók átlagos tömege 15 naptömeg.

A Nap a csillagok között

J. Hardorp már több éve próbálkozik azzal, hogy a Nap pontos mását megkeresse a csillagok között. E célból rendkívül részletes spektrofotometriai vizsgálatokat végzett a 330—839 nm közti tartományban, figyelembe véve a Nap színképére vonatkozó eddigi méréseket. A fő újdonsága eredményeinek az, hogy *a G2V típusú csillagok közt nem akadt olyan, amelyik spektrofotometriailag pontosan megfelelt volna a Napnak a kék és ibolyántúli tartományban.* Egyaránt jó egyezést mutatott viszont mind a vonalas színkép, mind a fotometria szempontjából a G5V színképtípusú 16 Cyg B (HD 186427). Hasonlóan jó Nap-analóg a Hyadokban levő HD 28099. Ezeknek a csillagoknak a felhasználásával a Nap fényessége az UBV-rendszerben $V = -26^m.71 \pm 0,03$; $B - V = 0,665 \pm 0,005$ és $U - B = 0,20 \pm 0,01$.

Új eredmények a Nap kutatásában

A Maunder-minimum felfedezése után J. Eddy ismét nagy érdeklődést keltett, amikor A. A. Boornazian-nal közös munkájában az 1836—1953 között végzett greenwichi meridiánészlelések alapján a Nap látszó sugarának lassú csökkenését állapította meg. A kb. 0,1%-os évszázadonkénti csökkenés például a neutrínó-kérdésre is választ adott

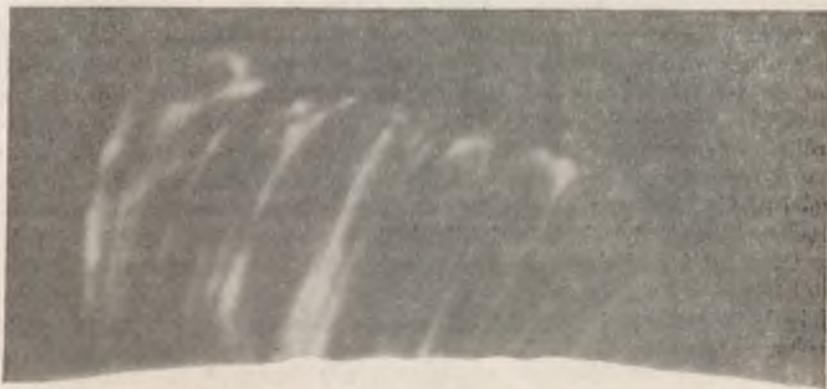
volna, amennyiben a zsugorodás által felszabaduló gravitációs energia-többlet pótolta volna a centrumban keletkező energiahíányt. Az eredeti mérések újraértékelése és más módszerek (Merkúr-átvonulások és teljes napfogyatkozások időtartamának mérése) segítségével J.M. Parkinson, L. V. Morrison és F. R. Stephenson *megcáfolták* a Nap átmérőjének változását. Az Eddy-féle „zsugorodás” műszerek és észlelők szisztematikus hibáira vezethető vissza. Érdekes módon azonban találtak egy kis, 0,02%-os, 80 éves periódusú fluktuációt a Nap átmérőjében.

Szintén a Nap belső felépítésének felderítését szolgálja a *Nap rezgéseinek, oszcillációinak vizsgálata*. Mind a hosszabb (160 perc), mind a rövidebb (5 perc) periódusú oszcillációk jelentősek ebből a szempontból. Bár a 160 perces rezgéseket már többen kimutatták, ez a periódus éppen $1/9$ nap, így a Föld forgása komoly zavaró hatással lehet az észlelésekre. (Az újabb megfigyelések szerint a periódus pontosabban 160,01 perc.) Részben ennek a nehézségnek a kiküszöbölésére egy francia—amerikai csoport az Antarktiszon állított fel egy távcsövet, amelyhez egy nátrium-rezonanciavonal abszorpciós fotométer csatlakozott — a globális Doppler-eltolódások mérésére. Az 1979—80-as déli nyár (december-január) folyamán kb. 200 órára terjedő adatot gyűjtöttek össze, ebből 7 nap megszakítás nélküli észlelés volt. Az előzetes eredmények szerint a módszer érzékenységére jellemző, hogy a Nap sugarának 5 méter (!) amplitúdójú oszcillációit képes kimutatni. Az 5 perces rezgés spektruma kb. 30 közelálló, egymástól egyenletesen $68 \mu\text{Hz}$ -re levő vonalra bomlott. Ez lehetővé teszi az egyes rezgési módusok meghatározását. Sikertült azt is kimutatni, hogy ezek a rezgések véletlenszerűen gerjesztődnek, és kb. 2 nap alatt csengenek le. Az adatokban fellelhető volt a 160 perces periódus is, de a pontos feldolgozás még hátra van. Az eddigiekből mindenesetre megállapítható, hogy a Nap viselkedése a rezgések szempontjából közeláll a standard modellből következő viselkedéshez. A standard modell további finomításához további mérések szükségesek.

A naptevékenységi ciklus egy új jelenségét mutatta ki R. Howard és H. LaBonte a Mt. Wilson Obszervatóriumban. A naponta észlelt magnetogramok radiálisbesség-adatait hosszabb időszakokra (4 naprotációra) kiátlagolva, az 1968—79-re terjedő anyag feldolgozásakor érdekes *rendezett anyagáramlás-rendszert* találtak. A Nap felszínén váltokozva gyors és lassú forgási zónák találhatók, az egyenlítőre nagyjából szimmetrikusan. E mozgások amplitúdója 3 ms^{-1} körüli. A zónák a pólusoknál keletkeznek, és 22 év alatt lassan levándorolnak az egyenlítőhöz. Ez alatt az idő alatt 4 zóna (2 gyorsabb és 2 lassabb) keletkezik a pólusoknál. A napfoltok nagyjából a gyors és a lassú zónák határán helyezkednek el. Érdekes, hogy 1975-ben a pólusoknál már kialakult az a gyors zóna, amelyik a jelenlegi naptevékenységi maximum *utáni* ciklushoz tartozik. E mozgásoknak elméleti magyarázata még nincs.



1980. nov. 14. $13^{\text{h}} 13^{\text{m}} 14^{\text{s}}$ UT $\text{H}\alpha$



30''

$13^{\text{h}} 12^{\text{m}} 09^{\text{s}}$ UT $\text{H}\alpha - 0,1 \text{ nm}$

A debreceni 53 cm-es nagy koronagráffal készült felvételek egy hurokprotuberancia-rendszerről a napkorong északnyugati szélén. A hurokrendszer jeleredetét az bizonyítja, hogy a hidrogén-alfa vonal centrumától jelentős távolságra is látható (alsó kép), míg a nyílal jelölt nyugodt protuberancia csak a vonalcentrumban vehető észre (felső kép).

(Az MTA Napfizikai Observatóriuma megfigyelési anyagából.)

1980 teljes időtartama alatt folytatódott az 1979. augusztus 1-én megkezdődött nagy nemzetközi megfigyelési kampány, a *Nap Maximum Év* (SMY). A részt vevő 66 obszervatórium közt ott van a Magyar Tudományos Akadémia debreceni Napfizikai Obszervatóriuma is, melynek 53 cm-es nagy koronagráfjával készült a 135. oldalon látható nagy, valószínűleg fler-eredetű protuberanciarendszer felvétele.

A külső bolygók

Egy új módszerrel, a folt-interferometriával (speckle-interferometry) sikerült közvetlenül megmérni a *Plutó* átmérőjét. Az eddig közeli óriáscsillagokra alkalmazott módszer a filmanyagok relatív érzéketlensége miatt a *Plutó* kis fényessége következtében nem volt alkalmazható. A Palomar-hegyi 5 méteres távcsőhöz kapcsolt kétdimenziós fotonszámláló segítségével azonban a mérés kivitelezhető volt. Az eredmény: 3000—3600 km, aszerint, hogy a bolygókorong egyenletes fényességű, vagy szélsőtétedést mutat. A mérések szerint az utóbbi a valószínűbb. (A Hold átmérője 3476 km.) Az új adatokból kiszámított albedo értéke 0,25, ez nagyjából megfelel a megfagyott metánnak. A *Plutó* tömege ismert, nemrég felfedezett holdjának, a Charonnak a keringési idejéből, így a bolygó sűrűségére 0,3—0,8 g cm^{-3} adódik.

Az *Uránusz* és a *Neptunusz* új forgási periódusát határozta meg G. Münch és H. Hippelein. A két német csillagásznak sikerült analitikus formába önteni a légkör torzító hatását a kis látszó átmérőjű bolygókról készült szinképfelvételekre, és ezt a korrekciót az 5 méteres távcsővel felvett szinképekre alkalmazták. Az új feldolgozás az *Uránusz* forgási periódusára 15,0 óra, a *Neptunusz*éra 11,2 óra értéket adott, amelyek a bolygók lapultsági adataival (0,033, illetve 0,026) jól egyeznek.

Új forgási periódust sikerült kimutatni a *Szturnusz* esetében is, a két *Voyager* űrszonda rádióészlelései alapján. A *Szturnusz* rádiózörejeinek periodicitásából hat hónap megfigyelései alapján levezetett érték: $10^h 39^m 24^s \pm 9^s$.

Kisbolygók

Csillagfedésből állapította meg a *Juno* átmérőjét egy amerikai csillagász-csoport. 1979. december 10—11-én a *Juno* elhaladt a SAO 115946 katalógusjelű, 9^m fényességű csillag előtt. A fedés sávjába — amely az USA délnyugati államain vonult át — hat, hordozható távcsővel ellátott csoport vonult ki, ezekből négy sikeresen észlelte a fedést, kettő túl északra volt. A hetedik állomás — a Lowell Obszervatórium — a sávtól

délre esett. Az észlelésekből a Juno alakjára *forzási ellipszoid* adódott, 292×243 km méretekkkel.

A Jupiter pályáján, a librációs pontok környékén keringő trójai kisbolygók közé tartozik a *Hektor*. Régóta ismert volt, hogy periodikusan változtatja a fényét 1^m2 -val. Ennek magyarázata, vagy két féltékéjének nagy albedokülönbsége, vagy igen elnyúlt, hosszúkas alakja lehetett. Az újabb megfigyelések az utóbbi hipotézist támasztják alá. W. K. Hartmann és D. P. Cruikshank Hawaii-ban a látható színeképtartományban és a hőmérsékleti infravörösben egyidejűleg figyelték meg a kisbolygót. Ha albedokülönbség okozná a fényváltozást, a sötétebb helynek jobban kellene melegednie, így a két tartományban a fénygörbék fázisa különbözne. Az észlelések azonban fázisegyeztetést mutatnak, ez a *hosszúkas alak* mellett döntött. A kutatók a tényleges méreteket 150×300 km-re becsülik. Ez nem szokatlan, mivel a Voyager—1 és —2 képei szerint a Jupiter belső holdja, az Amalthea, szintén hosszúkas alakú, $155 \times 170 \times 270$ km méretekkkel.

Jupiter- és szaturnuszholdak

Az utóbbi időkben annyi új megfigyelés gyűlt össze a Naprendszer kis égitestjeiről, hogy külön ideiglenes elnevezési rendszert dolgoztak ki az újonnan felfedezett holdakra. Eszerint a kétségtelenül holdnak észlelt objektumok jelzése a felfedezés évszámából, a főbolygó nevének kezdőbetűjéből és egy sorszámából áll, amely az adott évben az észlelés sorszáma. Amikor végleges pályát lehet kiszámítani az illető holdra, a Nemzetközi Csillagászati Unió megfelelő bizottsága nevet ad neki, figyelembe véve természetesen a felfedező javaslatát. Így pl. a Plútó nemrég felfedezett holdja az 1978P1 jelzést kapta, s csak később vált elfogadottá a felfedező javasolta Charon név.

A holdfelfedezések sűrűsödésének két fő oka volt 1979—80-ban. Egyrészt a Voyager űrszondák közelképein sikerült sokat azonosítani, és az ismert holdak méreteit pontosabban meghatározni, másrészt 1979—80-ban a Szaturnusz gyűrűrendszere majdnem pontosan élével fordult a Föld felé — a Föld háromszor haladt át a gyűrű síkján —, így nem zavarta a bolygóhoz közeli halvány holdak észlelését. Az előző ilyen alkalommal (1966-ban) történt néhány vitatott észlelés, ezért a mostanira több csillagászcsoport is felkészült.

A Voyager-felvételeken a Jupiternek 3 új holdját sikerült felfedezni. Az 1979J1 kb. 25 km átmérőjű, közvetlenül a szintén a Voyager által felfedezett gyűrű környékén kering, 57 000 kilométerrel a bolygó felszíne felett, keringési ideje $7^h 09^m$. Ennek a holdnak az újabb felvételei után kutatva bukkantak rá az 1979J7-re, amely az Amalthea és az Io

közt kering $16^h 11^m 21^s.3$ peródussal. Mint később kiderült, az 1979J1 nem egyedül kering, hozzá nagyon közeli pályán található az 1979J3. Először a két holdat azonosnak vélték. A legutóbb felfedezett 1979J3 átmérője kb. 40 km, keringési ideje $7^h 04^m 30^s$. A Voyager—2 észlelései-kor az 1979J1 és 1979J3 160° -ra voltak egymástól pályájukon.

A jupiterholdak száma bizonytalan, mert az 1975-ben felfedezni vélt J XIV léte nincs bizonyítva. A jelenleg biztosan ismert holdak felsorolása, a Nemzetközi Csillagászati Unió által hivatalosan adott nevükkel, a bolygótól kifelé a következő: 1979J1, 1979J3, V Amalthea, 1979J2, I Io, II Europa, III Ganümedesz, IV Kalliszto, XIII Leda, VI Himalia, VII Elara, X Lysithea, XII Ananke, XI Carme, VIII Pasiphae, IX Sinope. Megjegyzendő, hogy a direkt keringési irányú holdak neve „a”, a retrográdoké „e” betűre végződik, csak az I, III és IV hagyományos nevei nem követik e szabályt.

A Szaturnusz esetében is történtek felfedezések, a földi távcsövekkel és a Voyagerek kameráival egyaránt. Eközben egészen meglepő pályák adódtak. Az A. Dollfus által 1966-ban felfedezni vélt *Janus pályáján például két kis hold kering, az 1980S1 és 1980S3, közel 180° -ra egymástól*, így az elnevezés valóban prófétainak bizonyult. Az 1980S6 hold pedig a Dione pályáján, az előtt 60° -kal, *a librációs pontban* található, ezért néha Dione B-nek is nevezik. A holdrendszer közt két vékony gyűrű is található, ezeknek anyagát a közrefogó holdak gravitációs hatása fókuszálja. Belülről kifelé haladva a következő objektumok találhatók a Szaturnusz rendszerében (zárójelben a holdak sugara található km-ben, utána a pályasugár ezer km-ben):

Az A gyűrű külső széle 137,4

1980S28 (50) 138,2

1980S27 (100) 139,4

F gyűrű 140,6

1980S26 (125) 141,7

G gyűrű 150,0

1980S3 (100) 151,4

1980S1 (70×35) 151, 45

Mimas (195) 185,5

Enceladus (250) 238,0

1980S13 (?) 289,6

Tethis (525) 294,7

Dione (560) 377,4

1980S6 (40) 377,4

Rhea (765) 527

Titan (2560) 1222

Hyperion (155) 1481

Japetus (720) 3560

Phoebe (70) 12 930.

Üstökösök 1980-ban

Az 1980-as év új rekordot hozott az üstökösök megfigyelésében, a betűjelzésekben eljutottak az „u” betűig is, ami 21 objektumot jelent, bár az 1980p jelű üstökös később a Regulus szellemképének bizonyult. Figyelembe véve az előző évből áthúzódó elég fényes (januárban $4^m.5$) 1979 l

Bradfield üstököst, és az állandóan megfigyelhető P/Encke üstököst, összesen 22 objektumot figyeltek meg 1980-ban, ami még elmarad az 1977-es 27-től. A húsz betűjelzést kapott valódi üstökös közül tíz volt új, tízet már ismertek, ez utóbbiak újrafelfedezési képeiken 18^m – 20^m fényességűek voltak, tehát nem túl jelentősek. Egyedül a P/Tuttle (1980h) fényesedett ki 8^m -ig november-decemberben. Az új üstökösök közül figyelemreméltó a Bowell (1980b) pályája, a jelenleg parabolikus pályán mozgó üstökös 1980 decemberében megközelítette a Jupitert, így annyira felgyorsult, hogy 1982. áprilisi perihéliumátmenete után hiperbolikus pályán ($e = 1,06$) el fogja hagyni a Naprendszer. Ellenkező hatással volt a Jupiter az ugyancsak új P/Wild (1980d) üstökre, ennek eredetileg 10,3 éves periódusát 6,9 évre rövidítette. Az új üstökösök közül periodikus még a P/Russell 2 (1980o), periódusa 7,19 év. A parabolikus pályán mozgó Meier (1980q) üstökös pályasíkja majdnem pontosan merőleges az ekliptikára ($i = 101^\circ$). Az év végén a piszkás-tetői Schmidt-távcsővel Lovas Miklós is felfedezett egy 17^m fényességű üstököst, ez az 1980s jelet kapta. Az év legfényesebb üstökösét (6^m) ismét W. Bradfield találta meg (1980t), az ausztrál amatőrnek ez a 11. felfedezett üstököse.

1980 a *Periodic Comet Forbes*

Márc. 12,2688 UT $\alpha_{1950} = 13^h 37^m 1^s$ $\delta_{1950} = -8^\circ 36'$ $m_1 = 19^m$

H.-E. Schuster a várt hely közelében fényképezte le az ESO nagy Schmidt-távcsővével.

1980 b *Comet Bowell*

Márc. 13,2833 UT $\alpha_{1950} = 10^h 29^m 0^s$ $\delta_{1950} = +10^\circ 51'$ $m_1 = 16^m 5$

Edward L. G. Bowell fedezte fel az új üstököst a Lowell Observatórium 33 cm-es fotografikus távcsővével, perihéliumátmenete 1982 márciusában várható, 3,36 cs. e. távolságban.

1980 c *Periodic Comet Honda—Mrkos—Pajdusáková*

Máj. 1,4490 UT $\alpha_{1950} = 4^h 29^m 4^s$ $\delta_{1950} = +16^\circ 14'$ $m_1 = 15^m$

T. Seki Japánban az előre számított hely közelében találta meg.

1980 d *Periodic Comet Wild 3*

Ápr. 11,0771 UT $\alpha_{1950} = 13^h 31^m 0^s$ $\delta_{1950} = +12^\circ 28'$ $m_1 = 15^m 5$

Az új, rövidperiódusú üstökről a svájci Paul Wild számolt be. Periódusa 6,9 év.

1980 e *Comet Torres*

Jún. 13,2477 UT $\alpha_{1950} = 19^h 13^m 9^s$ $\delta_{1950} = -32^\circ 33'$ $m_1 = 15^m$

A chilei Carlos Torres találta, perihéliumátmenete április 18-án volt.

1980 f *Periodic Comet Brooks 2*

Jún. 13, 2986 UT $\alpha_{1950} = 22^h 06^m 8^s$ $\delta_{1950} = -5^\circ 45'$ $m_1 = 19^m$

H.-E. Schuster az ESO nagy Schmidt-távcsövével készült felvételen az előre számított hely közelében találta meg.

1980 g *Periodic Comet Stephan—Oterma*

Jún. 13, 3458 UT $\alpha_{1950} = 1^h 27^m 6^s$ $\delta_{1950} = -8^\circ 25'$ $m_1 = 18^m$

Az újrafelfedezés körülményei az előző üstökösével.

1980 h *Periodic Comet Tuttle*

Júl. 14, 2925 UT $\alpha_{1950} = 2^h 12^m 9^s$ $\delta_{1950} = +63^\circ 42'$ $m_1 = 20^m$

A Harvard obszervatórium agassizi állomásának 155 cm-es reflektorával C.-Y. Shao és G. Schwartz találta meg.

1980 i *Periodic Comet Borelly*

Júl. 9, 3118 UT $\alpha_{1950} = 23^h 44^m 0^s$ $\delta_{1950} = -43^\circ 33'$ $m_1 = 18^m$

Újrafelfedezési körülményeire nézve lásd az 1980 f üstököst.

1980 j *Periodic Comet Kohoutek*

Aug. 6, 2729 UT $\alpha_{1950} = 23^h 29^m 1^s$ $\delta_{1950} = +4^\circ 33'$ $m_1 = 19^m$

Mint az előzőt, ezt is H.-E. Schuster találta ismét meg az ESO-ban.

1980 k *Comet Cernis—Petrauskas*

Júl. 31, 708 UT $\alpha_{1950} = 11^h 50^m 0^s$ $\delta_{1950} = +32^\circ 40'$ $m_1 = 9^m$

Nem sokkal június 22-i perihéliumátmenete után fedezte fel a vilniuszi egyetemi obszervatórium üzbegisztáni állomásán K. Cernis és J. Petrauskas.

1980 l *Comet Russel*

Szept. 6, 7118 UT $\alpha_{1950} = 3^h 13^m 6^s$ $\delta_{1950} = -35^\circ 05'$ $m_1 = 17^m$

Az új üstökös fényképét K. S. Russel az ausztráliai nagy Schmidt-távcsövel kapta. Perihéliumátmenete 1981 februárjában volt.

1980 m *Periodic Comet Harrington*

Szept. 4, 4965 UT $\alpha_{1950} = 17^h 27^m 5^s$ $\delta_{1950} = -22^\circ 05'$ $m_1 = 18^m$

Ausztráliában P. Jakabsons találta meg ismét a halvány üstököst.

1980 n *Periodic Comet Reinmuth 2*

Szept. 10, 4972 UT $\alpha_{1950} = 17^h 12^m 2^s$ $\delta_{1950} = -24^\circ 26'$ $m_1 = 18^m$

Újrafelfedezésének körülményei megegyeznek az előzőével.

1980 o *Periodic Comet Russel 2*

Szept. 28,3973 UT $\alpha_{1950} = 21^{\text{h}} 44^{\text{m}} 7^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = -32^{\circ} 08'$ $m_1 = 17^{\text{m}}$

Felfedezése az 1980 l üstökösrel azonos módon történt, periódusa 7,1 év.

1980 p *Comet Helin—Dunbar*

A későbbi vizsgálat során a Regulus szellemképének bizonyult!

1980 q *Comet Meier*

Nov. 6,1111 UT $\alpha_{1950} = 18^{\text{h}} 06^{\text{m}} 2^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = +42^{\circ} 09'$ $m_1 = 10^{\text{m}} 5$

Rolf Meier, kanadai amatőr fedezte fel, 40 cm-es, f/5 nyílászvi-szonyú távcsővével. Perihéliumátmenete 1980 decemberében volt.

1980 r *Periodic Comet West—Kohoutek—Ikemura*

Nov. 12,0618 UT $\alpha_{1950} = 23^{\text{h}} 05^{\text{m}} 0^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = -46^{\circ} 28'$ $m_1 = 18^{\text{m}}$

Ez az üstökös is H.-E. Schuster újrafelfedezéseinek számát gazdagítja.

1980 s *Comet Lovas*

Dec. 5,0621 UT $\alpha_{1950} = 9^{\text{h}} 11^{\text{m}} 8^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = +33^{\circ} 40'$ $m_1 = 17^{\text{m}}$

Lovas Miklós fedezte fel a piszkás-tetői Schmidt-távcsővel. Az üstökös már szeptember 23-án áthaladt perihéliumán.

1980 t *Comet Bradfield*

Dec. 17,751 UT $\alpha_{1950} = 16^{\text{h}} 20^{\text{m}} 0^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = -36^{\circ} 16'$ $m_1 = 6^{\text{m}}$

William A. Bradfield ausztrál amatőr 11. üstököse. Közvetlenül a perihéliumátmenet (december 29.) előtt találta meg.

1980 u *Comet Panther*

Dec. 25,788 UT $\alpha_{1950} = 18^{\text{h}} 46^{\text{m}} 7^{\text{s}}$ $\delta_{1950} = +38^{\circ} 54'$ $m_1 = 10^{\text{m}}$

Angol amatőrök fölfedezése, szintén még az üstökös perihéliuma (1981. január 28.) előtt.

Galilei és a Neptunusz

Végül említsünk meg egy érdekes csillagásztörténeti felfedezést. C. T. Kowal csillagász és S. Drake tudománytörténész *Galilei feljegyzéseiben rábukkantak a Neptunusz megfigyeléseire!* Természetesen Galilei nem tudta, hogy egy bolygót látott, a Neptunusz mint állócsillag szerepel jegyzeteiben. A két kutatót az ösztönözte a vizsgálatra, hogy a Neptunusz pontosabb pályaszámításához kerestek felfedezése előtti megfigyeléseket. A felfedezés éve, 1846 óta ugyanis a közel 165 éves kerin-

gési periódusa miatt a Neptunusz még nem tett meg egy teljes fordulatot, így pályája lényegesen kisebb pontossággal ismert, mint a beljebb eső bolygóké. Ismert Lalande egy észlelése 1795-ből, amely állócsillagnak veszi a bolygót, és a helyzete 7 ívmásodperccel tér el a számítottól. Ez a kicsinek látszó eltérés azonban az akkori mérések pontosságával összehasonlítva tűrhetetlenül nagy. Más lehetőség egy véletlen megfigyelésre, ha olyan észleléseket keresünk, amelyek időpontjában a Neptunusz egy ismert és jelentős égitest közelében tartózkodott, így mint „állócsillagot” észrevehették. S. C. Albers a *Sky and Telescope* c. folyóiratban közölt egy listát az 1557 és 2230 közti kölcsönös bolygófedésekről, amikor egyik bolygó elfedi a másikat. A lista 21 eseményt tartalmaz (sajnos, a XX. században egyet sem), köztük két olyat, amikor a Jupiter elhaladt a Neptunusz előtt: 1613. január 4-én és 1702. szeptember 19-én. A későbbi időpontban már sok helyen használtak távcsöveket, így az összes átnézendő megfigyelési anyag meglehetősen nagy. 1613-ban viszont egyedül Galilei végzett távcsöves észleléseket, és majdnem naponta, sőt időnként egy éjjel többször is megfigyelte a Jupitert, a nemrég felfedezett holdak mozgását tanulmányozva. Galilei távcsövével legfeljebb 9^m fényességű csillagokat tudott észrevenni, a Neptunusz abban az időben 7^m7 fényes volt. Szerencsére a Virgo csillagképben kevés fényes csillag van ezen a vidéken. 1612. december 28-án a jegyzetkönyvekben a Jupiter és holdjai mellett egy „stella fixa” van feltüntetve, amely kétségtelenül a Neptunusz, viszont sajnos csak az iránya van helyesen feltüntetve, mert méretarányosan ábrázolva a távolságát, nem fért volna a lapra. Az 1613. január 28-i bejegyzésnél viszont Galilei külön skálát is rajzolt a megfigyeléshez, továbbá két állócsillagot is feltüntet a Jupiter és holdjai mellett, az „a” jelű a *SAO 119234* katalógusszámú csillaggal azonosítható, a „b” jelű kétségtelenül a Neptunusz. Galilei vázlata szerint a két égitest távolsága egymástól kb. 1 ívperc, a jelenlegi legpontosabb efemeris viszont a Neptunusz és a csillag távolságára 2 ívpercet ad, tehát ennyivel hibás lehet. Galilei az 1613. január 28-i rajz mellé a következő megjegyzést írta: — Az „a” állócsillagon túl egy másik következett vele egy vonalban, ez a „b”, amelyet az előző este is észleltem, de akkor távolabb látszottak egymástól. — Így tehát Galilei a Neptunusz felfedezése előtt 234 évvel nemcsak látta a bolygót, hanem mozgását is észrevette, bár távcsövének szerkezete nem tette volna lehetővé, hogy kövesse. Mint látható, a jó megfigyelések sohasem avulnak el. Kowal és Drake azt remélik, hogy ennek az észlelésnek és más hasonlóknak a segítségével pontosabb Neptunusz-efemerist tudnak összeállítani, amely figyelembe vesz eddig ismeretlen háborgatásokat is.

A VÉNUSZ FELSZÍNE

Az emberiség Vénuszról alkotott elképzeléseit egészen a nem is túl távoli időkgig döntő módon befolyásolta az a tény, hogy szinte semmi kézzelfoghatót sem tudtunk a bolygó fizikai viszonyairól, felszínéről. A korai vizsgálatok csak annyit árultak el róla, hogy kb. Föld-méretű, légkörrel és vastag felhőtakaróval rendelkező égitest. Mivel 0,72 cs. e.-re kering a Naptól, forró, párás világnak képzelték (melynek felszínét óceánok, mocsarak, buja trópusi vegetáció borítja, s melyet hatalmas óshüllők népesítenek be), így Földünk „múltját” vélték megtalálni a bolygón.

1920-ban aztán kiderült, hogy a Vénusz légkörében nem mutatható ki jelentős mennyiségű vízgőz, 1932-ben viszont felfedezték benne a szén-dioxidot. A vastag felhőtakaró az optikai hullámhossztartományban továbbra is lehetetlenné tette a felszín megfigyelését, ultraibolya fényben (II. tábla) azonban sikerült kimutatni a felhők mozgását (1957).

Új fejezet kezdődött a bolygó kutatásában az úrkorszak beköszöntével és a rádióhullámok tartományában végzett vizsgálatok megindulásával. 1956-ban a 3 cm-es hullámhosszon érkező sugárzásból a felszíni hőmérsékletre 330 °C-t kaptak, s hat évvel később, az első aktív, *radarvizsgálatok* elárulták, hogy a bolygó felszínén nincsenek nagy kiterjedésű, vízzel borított felületek (ezek ugyanis az észlelnél sokkal erősebben verték volna vissza a rádióhullámokat). Bebizonyosodott az is, hogy a bolygó légkörét túlnyomó részben CO₂ alkotja, a felszíni nyomás és hőmérséklet igen magas (a Mariner—2 és —5 mérései), s hogy a bolygó kb. 240 napos periódussal, retrográd irányban forog tengelye körül. 1968-ban (ismét csak radarmérésekkel) a bolygó sugarára 6050 ± 5 km-t, felszíni hőmérsékletére 750 K-t (477 °C), a nyomásra 9 MPa-t (90 atm) kaptak. Az 1969-ben sikeresen landoló Venyera—5 és —6 mérései megerősítették ez utóbbi értékeket. 1972-ben a Venyera—8 leszálló egysége megmérte a kőzetek radioaktivitását, s a felszínre jutó napfény mennyiségét (kb. 10%), a szél sebességét (kb. 1 m/s). 1973-ban — repülőgépről végzett megfigyelésekkel — arra a következtetésre jutottak, hogy a Vénusz felhőit kénsavcseppek alkotják. (Ezt a feltételezést 1978-ban a

Venyera—11, —12 és a Pioneer-Venus—2 légkörszondáinak mérései is igazolták.) 1974/75-ben kezdődött az a mérésorozat, melynek eredményeként sikerült a bolygó felszínének néhány pontjáról nagy (40—50 km-es) felbontású radarképeket kapni. 1976-ban a Venyera—9 és —10 kamerái panorámaképeket sugároztak a Vénusz felszínéről. Ezeken a képeken köves, sziklás terep tárult a kutatók szeme elé.

Végül még három vizsgálatról kell beszámolni: 1977-ben a feljavított 300 m-es arecibói rádiótávcsővel sikerült feltérképezni a Vénusz felénk forduló oldalának nagy részét, 1978 decemberében pedig két szovjet (Venyera—11, —12) és két amerikai űrszonda (Pioneer-Venus—1 és —2) érkezett a bolygó térségébe. Ezek az űrszondák sok részlettel finomították az égitestről alkotott képet, s néhány új, meglepő felfedezést is tettek, de itt csak a bolygó felszínére vonatkozó legújabb méréseiket ismertethetjük*. Lássuk tehát, hogy milyen (földi és űrszondás) módszerekkel térképezték fel a Vénuszt!

Radartérképezés a Földről és a Pioneer-Venus—1 fedélzetéről

Földi radarmérések

1960-ban, a 12 és 70 cm-es hullámhosszak közt végzett vizsgálatok segítségével sikerült kimutatni, hogy a Vénusznak *szilárd kérge* van, s (bár a felbontóképeség igen gyenge volt) bebizonyosodott, hogy a *talaj* a rádióhullámok kb. 15%-át *veri vissza*: ez az érték megegyezik a földi kőzetekre jellemző adattal. 1961/62-ben arra irányultak az erőfeszítések, hogy meghatározzák a bolygó rotációs periódusát. Ennek során kapta Roland L. Carpenter és Richard M. Goldstein a már említett, 240 nap körüli tengelyforgási időt. A további vizsgálatok (1974/75) során jelentős szerephez jutott a 300 m-es arecibói (Puerto Rico), a 64 m-es goldstone-i (California) és a 43 m-es haystacki (Massachusetts) rádiótávcső, melyek rendre a 70, a 12,5, illetve a 3,8 cm-es hullámhosszakon működtek. A már említett vizsgálati eredmények arra sarkallták az amerikai kutatókat, Goldsteint, Donald B. Campbell -t, Rolf B. Dyce-t, Richard P. Ingalls-t, Irwin I. Shapiro-t, valamint Gordon H. Pettengill-t), hogy az arecibói rádiótávcső átalakításával jelentősen megnöveljék a műszer érzékenységét (kb. 50-szeresére) és átlagos felbontóképeségét (kb. 2—3-szorosára). A műszaki megoldás lényege, hogy az antennareflektort alkotó dróthálót változtatható állású fémlapokra cserélték. Egy további, 10 km-rel északabbra fekvő, 30

* Az egyéb mérésekkel kapcsolatban Illés Erzsébet és dr. Horváth András „Vénusz '79” c. cikkére utalunk: Föld és Ég, 1979/11. sz., 322—333. old.

m-es antenna segítségével (az adatok számítógépes feldolgozása útján) lehetővé vált a *rádióinterferometriás vizsgálatok* végrehajtása is. A mérősorozatra a Vénusz 1975-ös és 1977-es alsó együttállása idején került sor.

A mérés elve

A megfigyeléseket 400 kW-os teljesítménnyel végezték, a 12,6 cm-es hullámhosszon. A 300 m-es antennából kilépő radarnyaláb fázisát megfelelő módon modulálták, így nagyon pontosan felismerhető, hogy a visszaérkező jelnek mennyi időre volt szüksége az oda-vissza út befutásához. Ebből pedig igen pontos távolságmeghatározás válik lehetővé, s ez még kiegészíthető a két vevőantenna közti útkülönbség következtében létrejövő interferenciajelenség elemzésével.

A mérést nehezíti, hogy a Vénusz vastag légkörében erős abszorpció lép fel. A befutandó nagy távolság is gyengíti a jeleket — ezért került a mérésekre akkor sor, amikor a Vénusz földközeli (az alsó együttállás ± kéthetes környezetében) tartózkodott. További nehézséget okoz, ha a radarhullámok viszonylag lapos szögben esnek be a bolygó felszínére. Ez a helyzet a magas vénuszraízi szélességeken fekvő területek vizsgálatánál. Mindezek mellett még egy jelenség gyengíti a reflektált rádiójeleket: a talajegyenetlenségeken létrejövő *szóródás*.

Ha ezeknek az egyenetlenségeknek a jellemző mérete jelentősen különbözik a vizsgálatokhoz használt hullámhossztól, ha a talaj viszonylag „sima”, akkor *tükrözésszerű visszaverődést* kapunk: közel zérus beesési szög (merőleges rálátás) esetén a reflektált jel erős, s ahogy a rálátási szög egyre laposabbá és laposabbá válik, a visszaverődés is egyre gyengül, viszonylag gyors ütemben.* Ezzel szemben, ha a talaj „göröngyös”, s így az egyenetlenségek mérete összemérhető a hullámhosszal, akkor *diffúz szóródás* jön létre (1. ábra): a felszín a radarjelet szinte minden irányba egyenlő erősséggel veri vissza — bármilyen irányból pillantunk is a területre, az egyenletesen fényes.** Így a radarképeken jelentkező *világos területek* általában *egyenetlen* terepet jelentenek (2. ábra). Mivel a későbbi mérések — egyetlen terület kivételével — megerősítették azt a feltételezést, hogy a *durvább, „rögös” felszínrészletek magasabban fekvő, hegyes-dombos vidékeken találhatóak*, ezért a 3. ábra radartérképén a fényes foltokat magas hegyekként kell értelmeznünk.

* Az előbbi esetre példa, ha az egyenlítő környéki sima terepen vizsgálódunk, míg az utóbbi akkor jön létre, ha a sarkok környékéről, esetleg a bolygókorong pereméről érkezik vissza a jel.

** Meg kell azonban jegyezni, hogy a visszavert összintenzitás elsődlegesen a talaj reflexiós képességétől (ez az a bizonyos, már említett kb. 15%) függ, s csak irány szerinti eloszlását befolyásolja a domborzat.



1. ábra. A radarképek értelmezésekor figyelembe kell venni a terep sajátosságait. Ha a talaj sima, azaz az egyenetlenségek mérete és a hullámhossz jelentősen különbözik, akkor tükrözésszerű visszaverődést kapunk. A beesési szöget kis mértékben változtatva a visszavert intenzitás erősen csökken (szórási „kúp”). Ha viszont a terep kb. a hullámhosszal megegyező méretű kőzetdarabkákból áll, úgy diffúz módon (minden irányba, szinte azonos erősséggel) reflektál a felület: a szórási kúp kiszélesedik — jobb oldali rajz



2. ábra. Egy földi példa a radarképek értelmezésére. A vulkánból kiáramló friss, egyenetlen felszínű láva fényes „nyelvként” jelentkezik a radarfelvételen. (NASA/JPL-fotó)

Mérési eredmények

Az arecibói radarvizsgálatok összesített eredménye a 3. ábrán látható: értelmezésére később, a felszíni jelenségek taglalása során visszatérünk, itt csak annyit bocsátunk előre, hogy a legérdekesebb objektumokat fehér keret jelzi, mellette a megfelelő (részletesebb) ábrára utaló számmal. A legjobb felbontóképesség egyébként 4—6 km körüli volt, de átlagosan 20—25 km-es alakzatok különböztethetők meg a képeken.

Feltűnő, hogy az 1975-ös és 1977-es méréssorozat eredményeként csak a bolygó 275°-os és 30°-os hosszúságok közti felszínét lehetett feltérképezni. Azt várnánk, hogy a Vénusz két egymást követő alsó együttállása idején felszínének más-más oldalát fordítja a Föld felé, és így — némi türelemmel — a teljes felületről radarvisszhangot kaphatunk. Ez azonban nincs így!

A Vénusz ugyanis $T_{sd} = 224,70$ napos (sziderikus) periódussal kering a Nap körül, tengelye körül viszont minden 243 napban (t_{rot}) egyszer fordul meg. Mivel a Föld keringési ideje $T_{Föld} = 365,26$ nap, így a Vénusz szinodikus keringési ideje (T_{sn}):

$$T_{sn} = \frac{1}{1/T_{sd} - 1/T_{Föld}} \approx 583,91 \text{ nap};$$

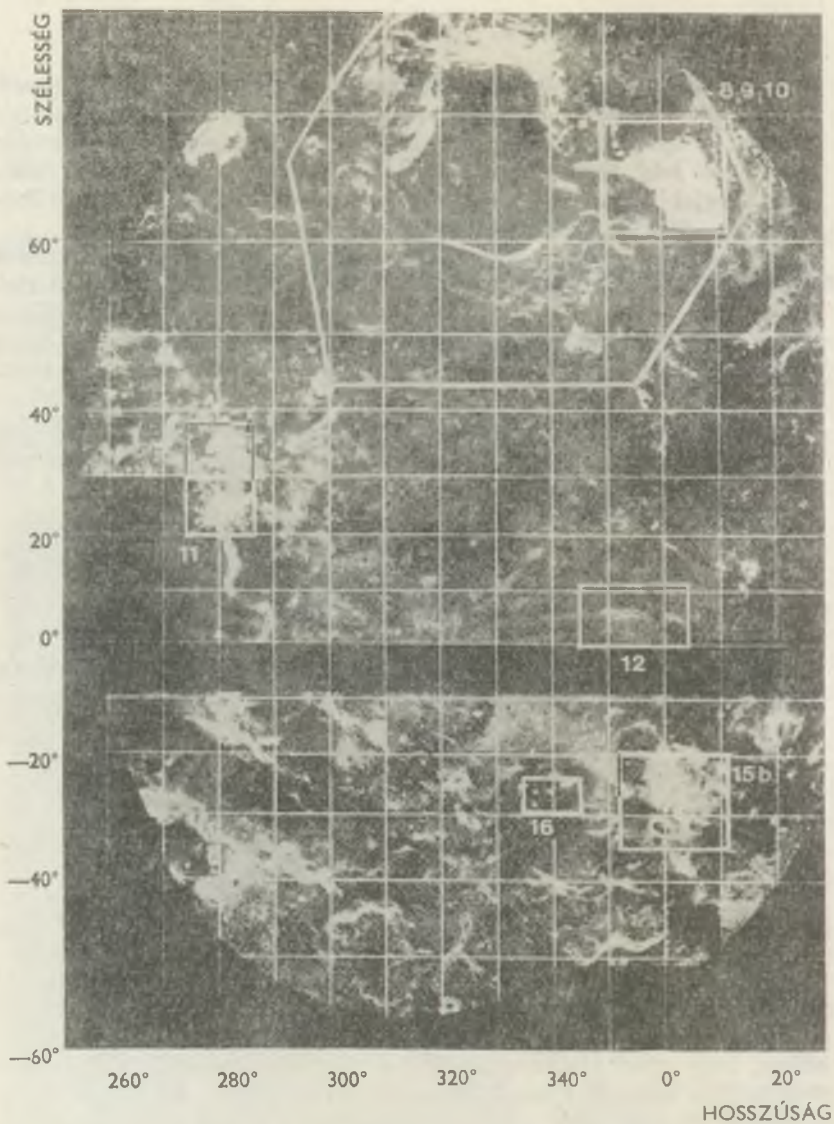
alsó együttállás tehát ilyen időközönként (kb. 19 hónap) következik be. A retrográd tengelyforgás miatt a Vénuszon a szoláris nap (t_v) hossza:

$$t_v = \frac{1}{1/T_{sd} + 1/t_{rot}} \approx 116,75 \text{ nap}.$$

Így két együttállás közt éppen:

$$\frac{T_{sn}}{t_v} = \frac{583,91}{116,75} \approx 5,002$$

vénusznap telik el. Mivel a két érték közelítőleg összemérhető, így a bolygó az alsó együttállások idején közel azonos oldalát fordítja felénk: ahhoz, hogy ezzel átellenes pontját is megpillanthassuk, mintegy 400 évet kellene várunk a megfelelő együttállásra! Ez az oka annak, hogy a Vénusz felszínét csak egy, a bolygó körüli pályára állított űreszköz segítségével lehetett feltérképezni.



3. ábra. Az arecibói 300 m-es rádiótávcsővel 1975/77-ben végzett megfigyelések-
ből készült radartérkép. Értelmezését lásd a szövegben, a számok a cikk többi
ábrájára utalnak. (NASA-fotó)

amerikai űrszonda 1978. május 20-án indult, s 1978. december 4-én állt vénuszkörüli pályára. Az űreszközt (4. ábra) úgy stabilizálták, hogy egy (az ekliptika síkjára merőleges) tengely körül megpörgették, percenként kb. 5 fordulattal. A szonda pályasíkja 74° -os szögben hajlott a bolygó egyenlítőjéhez (106° -os, közel poláris pálya), így a Pioneer-Venus—1 — mivel a pericentrum a 17° -os É-i szélesség felett volt — az északi sark és a 63° -os D-i szélesség közti területeket térképezhette fel. A pálya vénusztávoli pontja kb. 66 900 km volt, míg a bolygóközeli pont magasságát pályamódosító manőverek segítségével 150 és 260 km közt változtatták a tervezett aktív élettartam (243 földi nap) alatt.

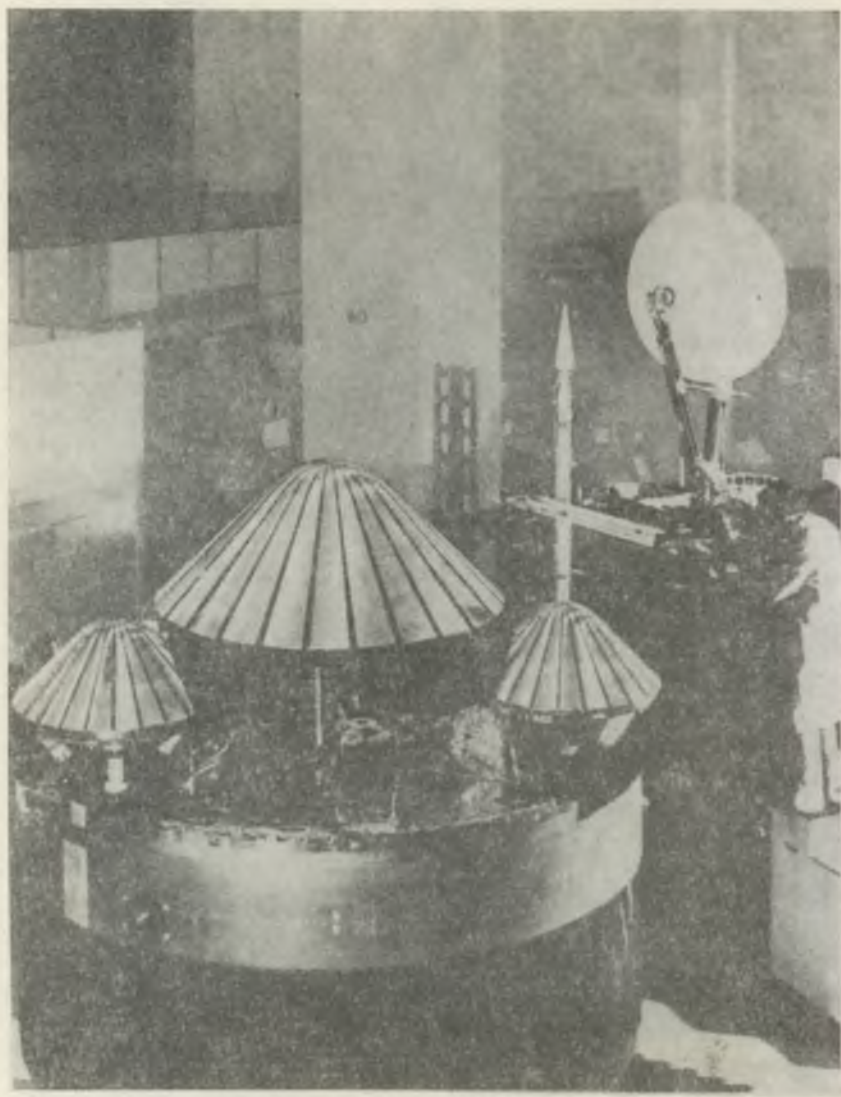
Mivel a számos pályakorrekció ellenére is maradt még hajtóanyag, a szonda küldetését 1979 augusztusában egy újabb 243 napos periódussal meghosszabbították. Erre egyébként azért is szükség volt, mert a radar-térképező-magasságmérő működésében az első időszak során zavarok mutatkoztak. A 14. és 47. nap közt a berendezés értékelhetetlen adatokat szolgáltatott (hősokek vagy töltésfelhalmozódás következtében egyes félvezető elemek eltérő mértékben „öregedtek”). Ezért a műszert ki is kapcsolták, majd — miután egy január közepén elvégzett teszt jelentős javulást tanúsított — úgy döntöttek, hogy a folyamatos üzemmód helyett csak naponta két órára kapcsolják be a radarkészüléket. Így (némi kényelmetlenségtől eltekintve) a tudományos programot végre lehetett hajtani.

A mérések elve

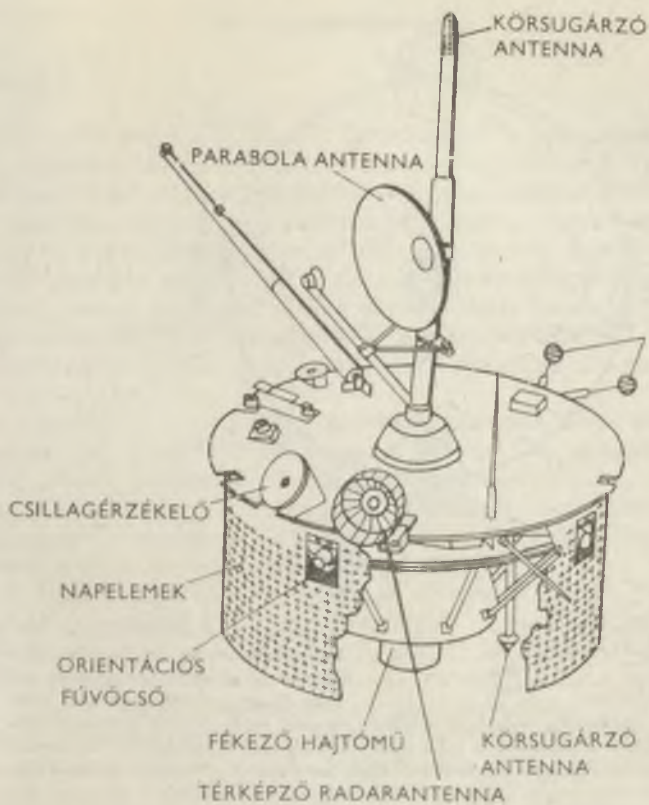
ugyanis az alábbi volt: A radaros magasságmérő a periapszis ± 1 óras környezetében mérte a holdacska felszín feletti magasságát, de csak akkor, ha ez kisebb volt 4700 km-nél. Az elnyúlt pálya miatt így az időkorlátozás nem jelentett problémát.

A mérési adatok feldolgozása a következőképpen történik: Ha a mért magasságértéket kivonjuk az űreszköznek a bolygó tömegközéppontjától mért távolságából (ez utóbbit a pályaadatokból határozhatjuk meg), megkapjuk a vizsgált tereppontban a *Vénusz sugarát*. Ezután nincsen más dolgunk, mint definiálni egy „tengerszintet”, s ehhez viszonyítani a bolygósugár lokális értékét. Így megkapjuk a vizsgált tereppont „tengerszint” feletti (alatti) magasságát.

A pályamenti mozgás következtében a mérési pontok sora egy keskeny sávot rajzol ki. Ez tulajdonképpen az űreszköz pályavetülete, amely az egymást követő keringések során elhalad a bolygó különböző tájai felett (a Vénusz tengelyforgása következtében), így 243 nap alatt minden vénuszrajzi hosszúság felmérhető. A pályavetület tehát mintegy

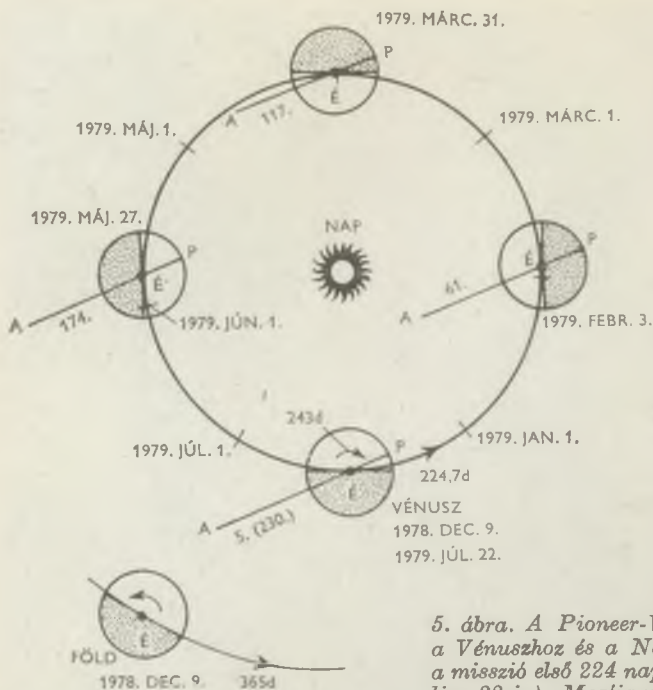


4/a. ábra. A Pioneer-Venus—2 és —1 (hátul) űrszondák. (NASA)



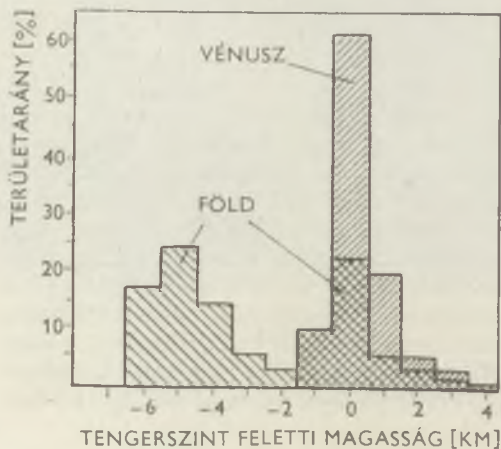
4/b. ábra A Pioneer-Venus—1 felépítése

„végigpásztázza” a bolygó felszínét: e keskeny sávok egymáshoz illesztésével alakul ki a Vénusz részletes térképe. (Persze a valóságban a dolog kissé bonyolultabb: folyamatos pályakorrekciókra, hibaszűrésre és -kiegyenlítésre, adatredukcióra, számítógépes feldolgozásra van szükség, s a kész adathalmazt szemléletessé is kell tenni — domborzati vagy kontúrvonalas térképet kell rajzolni. Ez utóbbi műveletet az Egyesült Államok Geodéziai Szolgálatának asztrológiai munkacsoportja végezte el Harold Masursky vezetésével — ld. a színes I. tábla térképét.) Az űrszondás mérések felbontóképessége (a kis teljesítmény miatt) egyébként sokkal rosszabb a Földről végzettekénél: függőleges irányban 200 m-es magasságkülönbségek, horizontálisan mintegy 100 km-es részeket különíthetők el.



5. ábra. A Pioneer-Venus—1 pályája a Vénuszhoz és a Naphoz viszonyítva, a misszió első 224 napjában (1979. július 22-ig). Megfigyelhető, hogy a Vénusz a Földről nézve időnként elfedte a szonda pályájának periapszist, így rádióokkultációs mérésekre is mód nyílt. A pályasíkot jelképező kis szakaszok melletti számok a küldetés kezdete óta eltelt keringések (napok) számát jelzik

nusz a Földről nézve időnként elfedte a szonda pályájának periapszist, így rádióokkultációs mérésekre is mód nyílt. A pályasíkot jelképező kis szakaszok melletti számok a küldetés kezdete óta eltelt keringések (napok) számát jelzik



6. ábra. A Vénusz és a Föld domborzatának összehasonlítása. A Földön —5 km-nél egy erős mélységi szélsőség figyelhető meg, míg a Vénusz felszínének 60%-a a „tengerszinten” terül el

Felszíni képződmények

Általános kép

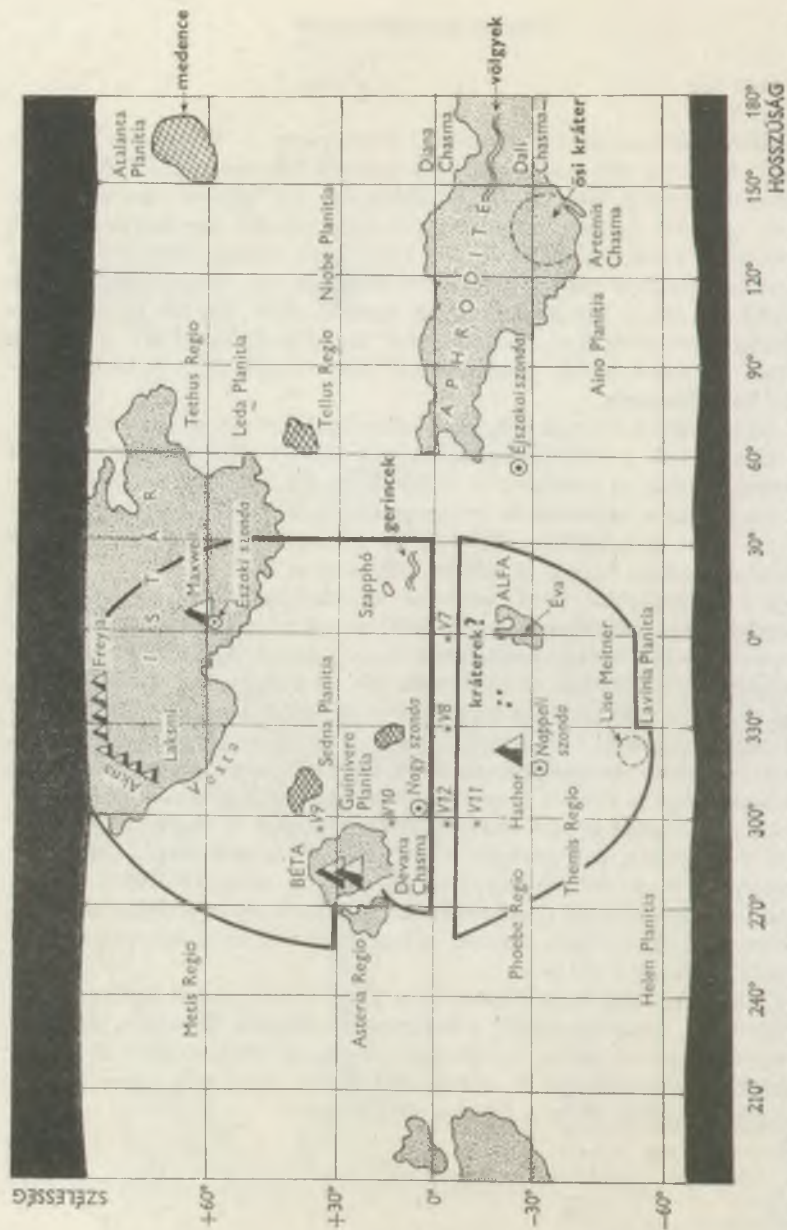
A kétféle méréssorozattal sikerült feltérképezni a bolygó felületének 93%-át, főként a déli pólus környéke maradt felmértelen. *A Vénusz felszínének nagy részét, 60%-át, egy hatalmas, lágyan hullámzó síkság borítja*, melyet igen kis magasságkülönbségek jellemeznek: legalacsonyabb és legmagasabb pontja közt mindössze 1000 m az eltérés. Ennek a síkságnak az átlagszintje csupán 300 m-rel húzódik az átlagos bolygósugár ($6051,4 \pm 0,1$ km, a legújabb mérések szerint) alatt. Említettük, hogy a magasságmérésekhez egy „tengerszintet” is definiálni kell. Nos, a Vénusz esetében (óceánok híján) „tengerszint” alatt éppen az átlagos bolygósugárt kell értenünk.

A „tengerszintnél” csak néhány, elsősorban az északi félgömbön található terület (pl. a 165° -os hosszúság és 65° -os É-i szélesség körüli medence) fekszik mélyebben. A Földdel összehasonlítva azt tapasztaljuk, hogy ezek a területek lényegesen kisebbek és sekélyebbek: a legmélyebb pont is mindössze 2900 m-rel húzódik a tengerszint alatt, s *a medencék aránya csupán a felszín 16%-át teszi ki!*

Ami a *magaslatokat* illeti: *arányuk az összfelszín 24%-a*, de a földi értelemben vett felföldek — azaz 2000 m-nél magasabban fekvő területek — csupán a bolygó felületének 5—8%-át borítják. A Vénusz legmagasabb pontja 10 800 m-rel emelkedik az átlagos bolygósugár fölé, így az égitesten mérhető legnagyobb magasságkülönbség 13 700 m.

Ha egy diagramon ábrázoljuk, hogy a különböző magasságú terepek milyen arányban részesednek az összterülethől, arra a következtetésre juthatunk, hogy *a Vénusz Naprendszerünk leginkább gömb alakú bolygója* (6. ábra); lapultsága is csak tizede a Földének vagy a Marsénak. Az űrszonda pályájának perturbációs vizsgálatából az is kiderül, hogy még a legnagyobb magasföldek sem okoznak gravitációs anomáliákat. Ez azt jelenti, hogy gravitációs (pontosabban: izosztatikus) egyensúlyban vannak környezetükkel: úgy „úsznak” a környező nehezebb fajsúlyú anyagban, mint jéghegy a vízben.

A 7. ábrán vázlatosan feltüntettük a Vénusz felszínének legfontosabb, legérdekesebb képződményeit, s berajzoltuk néhány űrszonda leszállási (becsapódási) pozícióját is. Az ábrán a vastagon kihúzott határu terület a Földről felmért felszínt (3. ábra) jelzi. E két ábra és a színes térkép segítségével vegyük sorra a felszíni alakzatokat!



7. ábra. Erről a rajzról könnyen behatárolhatók a Vénusz legfontosabb felszíni képződményei és a Vénusza — 7, ... — 12 ázondák, valamint a Pioneer-Venus — 2 négy légkörszondájának leszállási, illetve becsapódási pontjai

Magasföldek, hegységek, vulkánok

Mint az a 7. ábra szürkén árnyalt területeiből és a színes térképből jól kivehető, a Vénuszon *három magasföld* különíthető el. Ezek közül a legmagasabb és a legváltozatosabb felszínű az északon található

*Istár**,

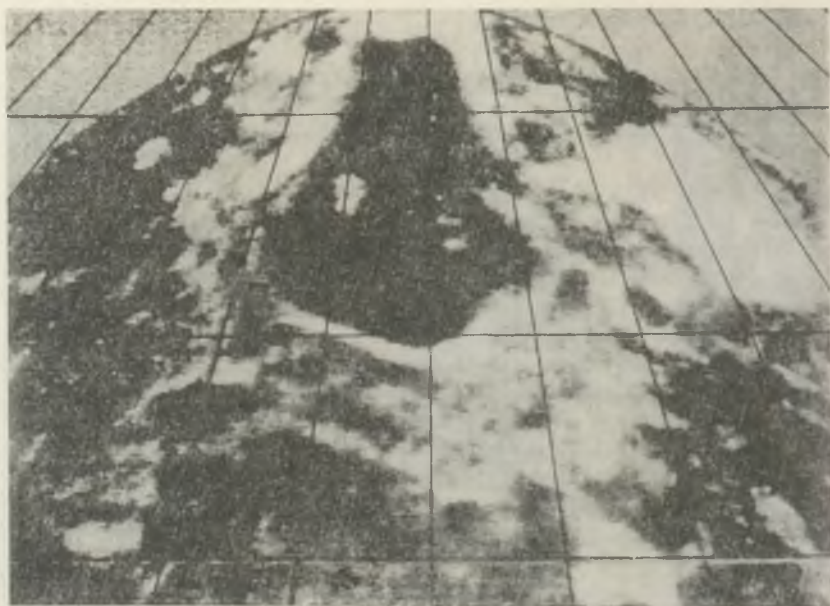
melynek területe (kb. 7,5 millió km²) közel akkora, mint Ausztráliáé. A 3. és 8. ábra radarképeiről jól azonosíthatóak e fennsík főbb alakzatai: a közepén (330°-os hosszúság és 65° É-i szélesség) körül elterülő sötét, körte alakú plató, a *Laksmí*, és az ennek nyugati, északi és keleti határvonalán található hegységek, az *Akna*, a *Freyja* és a *Maxwell*.

A Laksmí mintegy 3000 × 1500 km kiterjedésű (kétszer akkora, mint a Tibeti-fennsík), átlagos tengerszint feletti magassága 3300 m. Alacsony reflexiós képessége azt jelzi, hogy a felszín itt viszonylag sima, a marekhoz hasonló lehet. Keskeny, fényes határvonalai viszont arra utalnak, hogy meredek, durva felszínű, hegyes terep határolja, mind délről, ahol a fennsík leereszkedik a síkságra, mind nyugatról és északról, ahol 6000—6500 m-rel emelkednek a „tengerszint” fölé az Akna és a Freyja hegyláncai.

A Laksmí keleti peremén látható fényes terület a Maxwell (5°, 65° É)**, a Vénusz legmagasabb hegysége: csúcса 10 800 m magasra tornyosul. Nagy fényessége azt jelzi, hogy itt igen egyenetlen a terep. (A Pioneer-Venus — I magasságmérési adatait összehasonlítva a földi radarmegfigyelésekkel itt is sikerült igazolni azt a már korábban említett tényt, hogy a fényesebb — egyenetlenebb felületű — terepszakaszok általában magasabban fekszenek. A szabály alól csak a Laksmí igen sima, sötét felszíne a kivétel.) Ha a Maxwellről készült képnek erősen csökkentjük a kontrasztját, további részletek bukkannak elő (9. ábra).

* Az IAU határozata szerint a Vénusz felszíni képződményeit a következő elvek szerint nevezik el: a nagyobbak a különböző kultúrkörök mitológiai istennőiről (Istár, Aphrodité) a kisebbek mitológiai nőalakokról (pl. Éva, Laksmí), míg a még kisebb, kör alakú felszíni jelenségek már elhunyt, világ-hírű asszonyokról (pl. Szapphó, Lise Meitner) kapják nevüket. Csak három, korábban felfedezett terület elnevezése nem követi a fenti logikát: az Alfée, a Bétée és a Maxwellé. A nagyobb „kontinensek” a *terra* (latinul: föld), a kisebb, „tengerszintnél” többé-kevésbé magasabban fekvő vidékek a *regio*, a szakadékos, völgyekkel szabdalt terepek a *chasma* (szakadékok), a „tengerszinten vagy annál mélyebben fekvő területek a *planitia* (síkság), míg a hegyes terepek a *montes* (hegység) szócskát viselik nevük mellett, utalva ezzel a szóban forgó képződmény jellegére.

** Ezentúl mindig megadjuk az alakzatok „közepének” közelítő koordinátáit is, az alábbi sorrendben: (hosszúság, szélesség).



8. ábra. Az Istár Földről készült radarképe. A kép középvonalában megfigyelhető a sötét, körte alakú Laksmi, tőle keletre (jobbra) a fényes Maxwell, s a Laksmi északról, illetve nyugatról (felül, illetve a kép bal oldalán) határoló hegyek: a Freyja és az Akna. A képközép koordinátái: 330° , 60° É. (NASA)

9. ábra. A Maxwell kontrasztszökkentéssel készült képe. A 8. ábrához viszonyítva sokkal több (minimálisan 10 km-es) részlet látható. Megfigyelhető egy észak-nyugat—délkeleti lefutású gerinc, s a keleti lejtőn egy 1000 m-nél mélyebb, kb. 100 km átmérőjű, sötét terület, amely esetleg vulkáni kráter lehet. Az ábrázolt felület észak—déli irányú kiterjedése mintegy 750 km. A képközép koordinátái kb.: 0° , 65° É. (NASA) — jobbra, felül

10. ábra. Az Istár. Jobb szélén emelkedik a Maxwell tömege, középen terül el a Laksmi-plató, míg a magasföld bal oldali peremén a határoló hegyláncok egyike (Akna) látható. A függőleges irányú méretek erősen torzítottak. (NASA fantáziarajz) — jobbra, alul

A Maxwelltől keletre az Istár topográfiája igen bonyolulttá válik: gerincekkel, völgyekkel, teknőkkel és zárt medencékkel szabdaltnak tűnő terep ereszkedik fokozatosan a „tengerszint” felé, egészen a kb. 80° – 110° -os vénuszrajzi hosszúságig. A Tethus-terület határáig Az Istárról készült fantáziarajz a 10. ábrán látható.



A Vénusz legnagyobb kiterjedésű magassföldje az

Aphrodité.

(Igaz, hogy a színes térképen az Istár nagyobbnak tűnik, de ennek oka a Mercator-vetület torzító hatása, az ún. Grönland-effektus.) Ez a dél-amerikányi terület az egyenlítő mentén helyezkedik el, a 60° és 230° -os hosszúságok között, átfogva a bolygó területének majdnem felét. Felszíne mintegy 1000 m-rel húzódik a síkság fölött, s ebből a kissé hullámos fennsíkból három (3300 és 8000 m közti magasságú) hegység emelkedik a környező terep fölé. Mivel az Aphrodité felszínén — úgy tűnik — nincsenek felemelkedett platók és vulkánok, ez a magassföld öregebb és jobban lepusztult lehet, mint az Istár.

11. ábra. A Béta terület kettős vulkáni kúpja. Előtérben a Theia, tőle északra a Rhea. A magassági méretek erősen torzítottak: ez a képződmény a valóságban igen lapos, enyhe lejtésű. (NASA fantáziarajz)



A Béta terület

vizsgálata viszont egyértelműen arra mutat, hogy ez a képződmény vulkanikus eredetű. Két 4000 m magas kúpból, a *Rheából* (283° , 33° É) és a *Theiából* (282° , 24° É) áll (11. ábra). Alapjuk észak – déli irányban mintegy 2100 km kiterjedésű, így a *Béta a legnagyobb bázisterületű vulkáni objektum a Naprendszerben*, még a marsbeli Olympus Monst is felülmúlja, amely ugyan kb. 24 km magas, de alapja csak 550 km átmérőjű! Ebből az összehasonlításból is kitűnik, hogy ez a helyenként mély völgyekkel és „durvább” terepsávokkal borított felszínű kettős pajzsvulkán tulajdonképpen *igen lapos, enyhe lejtésű*. A terület vulkáni eredetét látszik megerősíteni a Goldstein által végzett radarmegfigyelés is: a terület csúcsán egy kis bemélyedést (talán kalderát?) vélt felfedezni. Sajnos a Pioneer-Venus –1 felbontóképessége nem teszi lehetővé a kaldera létének igazolását. A Béta egyébként egy észak – déli irányú törésvonal mentén fekszik, amely a 40° -os É-i szélességtől elhúzódik egészen a déli félgömb közepéig. (Egy szakasza, az ún. *Devana Chasma* igen tisztán kivehető a 3. ábrán, a 280° -os hosszúságtól kissé keletre.) Ezt a törésvonalat egyébként a *Béta*, *Asteria*, *Phoebe* és *Themis* területek övezik.



12. ábra. Az egyenlítőtől kissé északra fekvő kettős gerinc radarképe. A képközép koordinátái kb.: 355° , 7° É. (NASA)

Kanyonok, völgyek és gerincek

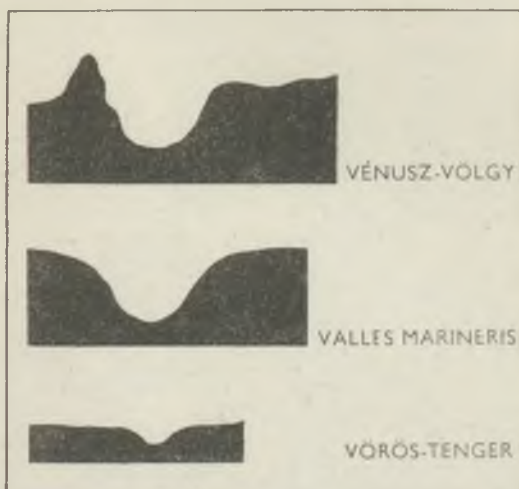
Az egyenlítőtől kissé északra (355° , 5° É) a földi radarmérések két, egyenként 1000 km hosszú, párhuzamos gerincet (12. ábra) mutattak ki, melyek mindegyike kb. 2000 m magas, s egy 90 km széles völgy választja el őket. A gerincek fala igen meredek, mintegy 6° -os lejtésű. A Földön nemigen létezik hasonló alakzat, így eredetére vonatkozóan egyelőre csak találgathatunk.

Az Aphrodité keleti felén (160° , 20° D) két hatalmas kanyon található, amelyek egymással párhuzamosan, mintegy 1500 km-es hosszúságban nyúlnak el (13. ábra). A nagyobbik völgy mintegy 280 km szélességű, s feneke helyenként 2900 m-rel fekszik a „tengerszint” alatt: itt található a Vénusz legmélyebb pontja. Ez a hatalmas völgy Naprendszerünk hasonló jellegű képződményeinek legnagyobbika, nagyobb a Valles Marinerisnél is (14. ábra). A földi völgyekkel ellentétben — melyeket többnyire az erózió váj ki — ezt a mélyedést tektonikus mozgások hozták létre:



13. ábra. A nagy vénuszi völgy, amely mintegy 280 km szélességű, s legmélyebb pontjai 2900 m mélyen fekszenek. (A magassági arányok erősen torzítottak.) A fő képződmény bal oldali peremén látható hegy fala egyike a Vénusz legmeredekebb lejtőinek: 7° -os. (NASA fantáziarajz)

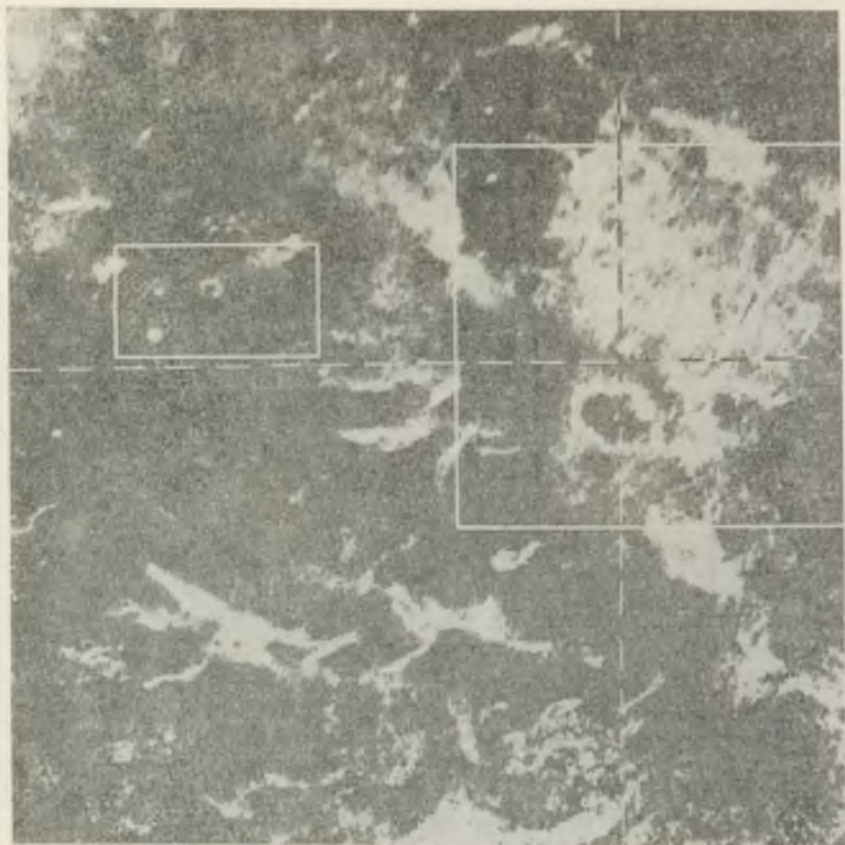
14. ábra. Három (vénuzi, marsbeli és földi) „völgy” profiljának összehasonlítása. A függőleges irányú méreteket kb. 40-szeresére nagyítottuk



a kanyon profiljából arra következtethetünk, hogy a belső erők nyitották meg a bolygó kérgét. Erózió vagy meteorbecsapódás nem hozhatott volna létre ilyen méretű, egyenes képződményt. A tektonikus eredetre utal az a tény is, hogy (a földi vetődési árkokhoz — pl. a Kelet-afrikai-árkokhoz — hasonlóan) e völgyet is *keresztvetők* szakítják meg, kb. 50—100 km-es szakaszonként. A völgyek környezetének (*Diana* és *Dali Chasma*) topográfiája egyébként hasonló az Istár keleti feléhez: magas gerincek és mély völgyek váltják egymást.

Az Alfa terület

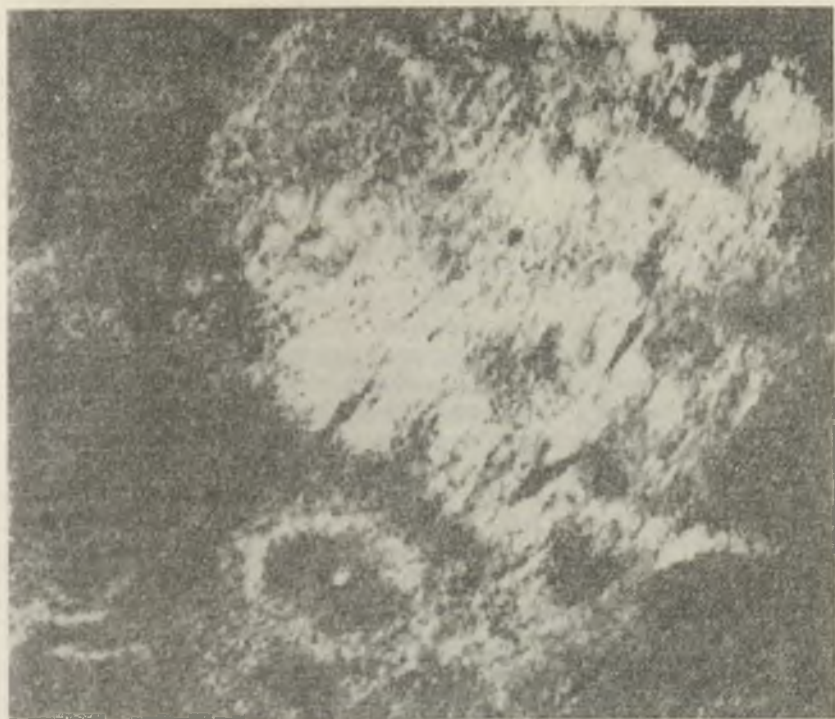
a centrálmeridián mentén, a 25°-os D-i szélességnél fekszik. Egy kb. 1800 m magas, egyenetlen felszínű zóna, amelyet egymástól mintegy 20 km-re húzódó, északkelet—délnyugati irányú *párhuzamos törések* vagy *gerincek* borítanak (15. ábra), s ezek némelyike több száz km-en keresztül is nyomon követhető. Az alakzat erősen emlékeztet a Nevadában található töredezett aljzatú medencékre. Tőle kissé délebbre (0°, 32° D) felfedezhető egy fényes középponti alakzattal rendelkező, kör alakú struktúra, az *Eva* (15/b. ábra), amely nagyon hasonlít a Hold vagy a Merkúr becsapódási eredetű krátereire.



15/a. ábra. Az Alfa terület, és a tőle nyugatra, 1500 km-nyire fekvő kör alakú formák radarképe. A fehér keretek által határolt területek a 15/b., illetve a 16. ábrán kinagyítva is láthatók. A szaggatott vonalak a centrálmeridiánt, illetve a 30°-os D-i szélességi kört jelzik. A képközép koordinátái kb.: 348°, 33° D. (NASA)

15/b. ábra. Az Alfát északkelet—délnyugati irányú párhuzamos redők borítják. A kép alsó felén látható Éva erősen emlékeztet a Hold középponti csúccsal rendelkező krátereire. A képközép koordinátái kb.: 2°, 27° D. (NASA) jobbra, felül

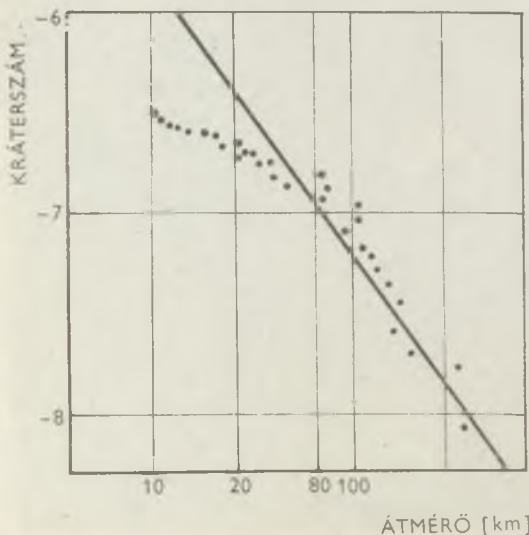
16. ábra. Körformák a Vénuszon, amelyek első pillantásra becsapódási krátereknek tűnnek, de ezt kétségessé teszi pl. a kép közepén látható alakzat finomszerkezete. Így a vulkáni eredetet sem zárhatjuk ki teljesen. A képközép koordinátái: 340°, 27° D. (NASA) — jobbra, alul



Kör alakú formációk (kráterek, medencék)

A Vénusz hatalmas síkságán elszórva több helyütt is kör alakú, fényes peremmel rendelkező, sötét képződmények találhatók, s ezek közepén kis, fényes (a radarhullámokat erősen szóró) „csúcsok” láthatók (16. ábra). Tipikus átmérőjük 400–600 km közti, de mélységük mindössze 200 és 700 m közé esik! Jóllehet, igen hasonlatosak a más égitesteken található becsapódási eredetű kráterekhez, s — Barbara A. Burns vizsgálatai szerint — eloszlásuk is elég jól illeszkedik az elméleti kráter-sűrűség-diagramra (17. ábra), mégsem szabad túl hamar meteoritötte képződményekként elkönyvelnünk őket. Az óvatosságra részint csekély mélységük ad okot, részint az a jelenség, hogy a nagyfelbontású radar-képeken e kráterek pereme nem pontosan kör alakú (ez jól megfigyelhető a 16. ábra középvonalában látható kráter esetében), s a krátert övező „kidobott” sugárirányú anyagtörmelék is szélesebb a várhatónál. Remélhetőleg a jobb felbontású képek véglegesen tisztázzák majd e kör alakú formációk eredetét is. Meg kell még említeni az Aphrodité-től délre (135° , 35° D) található, 1800 km átmérőjű körformát, amely viszont valószínűleg tényleg egy ősi becsapódás maradványa (*Artemis Chasma*).

Korábban már említettük, hogy a *medencék* („tengerszint” alatt fekvő területek: a *Sedna*, *Guinivere*, *Leda*, *Niobe*, *Atalanta*, *Helen*, *Lavinia*, *Aino*) csak 16%-nyit foglalnak el a bolygó felszínéből. Itt csak e területek legnagyobbikát, az *Atalanta Planitiát* (165° , 75° É) mutatjuk be. Ennek



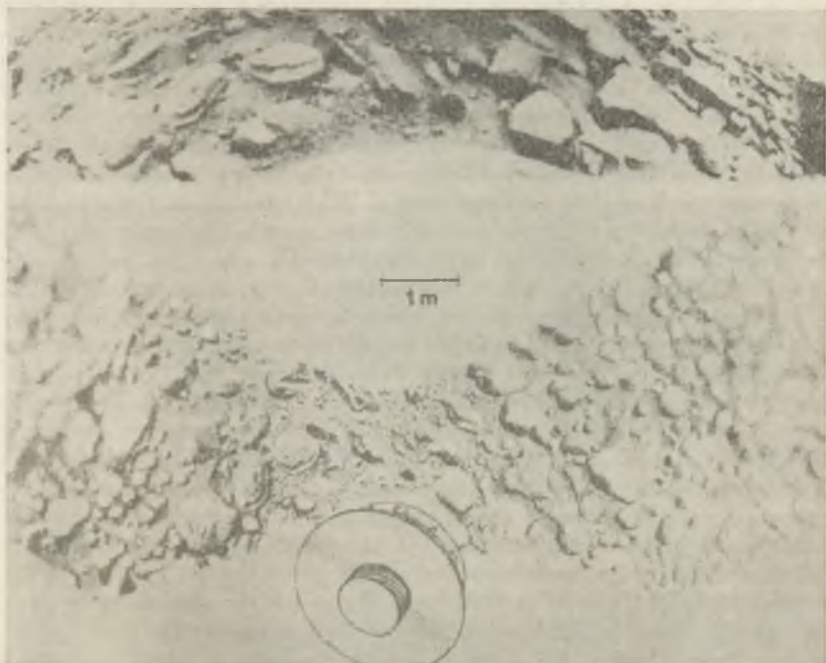
17. ábra. A Vénusz kráter-sűrűség-diagramja (Burns nyomán). Látható, hogy a 80 km-nél nagyobb átmérőjű kráterek négyzetkilométerenkénti száma jól illeszkedik az elméleti számításokból levezetett egyenesre. A 20 km-nél kisebb objektumokból talán azért van kevesebb, mert az ilyen méretű becsapódásokat okozó meteoritok könnyebben elégnek a bolygó sűrű légkörében, míg a 20–80 km közti tartományban a jelenlegi radaradatok alapján nem túl megbízható az objektumok azonosítása

legmélyebb pontja kb. 2700 m-rel van a „tengerszint” alatt, s feneke sima — olyan, mintha geológiailag fiatal, bazaltos lávafolyammal kitöltött terep lenne. Mérete egyébként az Atlanti-óceán északi medencéjével megegyező.

Közelfelvételek a Vénusz terepviszonyairól

A szovjet Venyera—9 és —10 bolygószondák leszálló egységei 1975. október 22-én, illetve 25-én simán talajt értek, a Béta régiótól kissé keletre (a 293° , 33° É, illetve a 295° , 15° É koordinátájú helyeken). Fedélzetükön tv-kamerákat is elhelyeztek, így a két szonda *panorámaképeket* (18. ábra) sugározhatott a környező terepről. A Venyera—9 leszállási helyét mintegy 20—40 cm átmérőjű, éles peremű kövek borították, ezzel szemben a Venyera—10 sima talajt „látott” maga körül: csak egy csupasz, lekopott sziklagerinc bukkant elő. (Ha a színes térképen megvizsgáljuk a két leszállási körzetet, a különbség még érthetővé

18. ábra. A Venyera—9 panorámaképe a Vénusz talajáról, s annak felületi kiterítése (alul)



is válhat: az előbbi szonda a Rhea-hegység lábánál, míg társa már a síkságon ért talajt! Az, hogy ilyen méretű és éles peremű szikladarabok láthatók a képen, jól magyarázható, mivel a Vénuszon — folyadékok hiányában, s a mért kis (0,5—1,5 m/s-os) szélességek következtében — nem lehet túl erős az erózió hatása.

A Venyera—8, —9 és —10 leszálló egységének fedélzetén gamma-spektrométereket is elhelyeztek, hogy segítségükkel a talajban fellelhető *radioaktív elemek összetételét, arányát* megmérhessék. A síkság közepén (335°, 7° D) leszállt Venyera—8 a földi, kontinentális gránitokéhoz hasonló radioaktivitást mutatott ki, míg a Venyera—9 és —10 a Béta szomszédságában már a bazaltokéhoz hasonló radioaktívelem-koncentrációt jelzett a kőzetekben. Ez arra utalhat (és ezt a Béta vulkáni eredetéről alkotott jelenlegi képünk is megerősíti), hogy ezen a területen a bazaltos kőzetek dominálnak.

Milyen hatások alakították a Vénusz felszínét?

Az eddig elmondottakból már valószínűleg mindenki könnyen válaszolhat a kérdésre: a folyadékok (víz stb.) eróziója kivételével mindazok az erők és folyamatok, amelyek Földünkét — nevezetesen *a meteoritbecsapódások, a tektonikus mozgások és a vulkanizmus*. Nem közömbös azonban az sem, hogy az egyes folyamatok milyen mértékben vették ki részüket a Vénusz „arcának” megformálásából. Nos, erre a kérdésre (mivel az igazán apró, árulkodó részleteket ma még nem látjuk) nehéz megadni a választ. Néhány dolog azonban már így is nyilvánvaló. A Vénuszon például nem találtuk meg a Föld felszínének formálásában oly jelentős szerepet játszó *lemeztektonika* szembetűnő nyomait: sem szubdukciós zónákat (ahol az egyik kéreglemez a másik alá bukik), sem az óceánközépi hátságok, árkok megfelelőit (ahol az új kéreg keletkezik).

Földünkön a kéreglemezek ütközései látványos geológiai formációkat eredményeznek (pl. az ázsiai és az indiai lemez határán emelkedik a Himalája). De hogyan keletkeztek a Vénusz magasföldjei? William M. Kaula érdekes elképzelést körvonalazott erre vonatkozóan. Véleménye szerint a Vénusz ősléghőjében a víz hiánya következtében *magasabb hőmérséklet* alakulhatott ki, s ez (több áttételen keresztül) végül is azt eredményezte, hogy a bolygó kérge csak sokkal lassabban szilárdulhatott meg. A felszín lassabb megszilárdulása viszont lehetővé tette a kőzetek fajsúly szerinti elkülönülését: a könnyebb, hígabb gránitos kőzet felülre kerülve vagy egyetlen óriási „lemezzé” forrott össze, mielőtt a konvekció apróbb táblákká tördelte volna, vagy egyszerűen befagyaszott a már meglevő kéreglemezek mozgását. Így az Istár és az Aphrodité az utolsó nagyléptékű tektonikus mozgások eredményeként jöhetett

létre, még a folyamat teljes kialakása előtt*. A fenti mechanizmus eredményeképpen a bolygó kérge vastagabb, mint Földünké, de nem éri el a Hold vagy a Mars kérgének extrém vastagságát. Mindezek persze nem jelentik azt, hogy a Vénusz tektonikai szempontból teljesen inaktív. Törések, repedések, vulkánok sora bizonyítja ennek az ellenkezőjét.

Nyitott kérdések természetesen mindig maradnak, például, hogy miért oly sekélyek a kráterek és a medencék, miért annyival magasabb a Maxwell a többi hegynél, hogyan keletkeztek az óriási völgyek és gerincek, s így tovább. E problémák megválaszolása remélhetőleg majd ahhoz is hozzásegíthet bennünket, hogy jobban megértsük annak a bolygónak a felépítését, amelyen élünk.

* Ezt az elképzelést erősítik az előző fejezetben a talajösszetételről mondot-tak, de persze az is elképzelhető, hogy a magasföldeket olyan helyi emelkedő mozgások eredményezték, mint pl. a földi Sierra Nevadát.

REZONANCIÁK A NAPRENDSZERBEN

Bevezetés

Az égitestek mozgásával kapcsolatos rezonanciajelenségek vizsgálata az égimechanika legérdekesebb feladatai közé tartozik. A rezonanciának több fajtája ismeretes, ezek közül az egyik leggyakoribb a pályamenti keringések rezonanciája. Ez a *keringési idők összemérhetőségével* kapcsolatos. Két bolygó T , illetve T' keringési ideje akkor összemérhető, ha arányuk felírható két egész szám hányadosaként:

$$\frac{T}{T'} = \frac{p}{p'} \quad (1)$$

ahol p és p' egész számok.

Ha (1) teljesül, a két bolygó $p'T = pT'$ időközönként egymáshoz és a Naphoz viszonyítva ugyanabba a helyzetbe jut (ezalatt a belső bolygó p' , a külső p számú fordulatot tesz meg). Az (1) összefüggés — minden időpontban — pontosan azonban csak akkor állhatna fenn, ha a két bolygó mozgását egyedül a Nap gravitációs vonzása határozná meg. Mivel a valóságban a bolygók egymásra is hatással vannak, kölcsönös perturbációik eredményeként változik a keringési idejük, és így ezek aránya is.

Két bolygó keringési ideje a valóságban tehát csak *közelítőleg összemérhető* lehet, kivéve azokat a pillanatokat, amikor — a T/T' arány időbeli változása során — fenti összefüggésünk pontosan teljesül. Korábbi megállapításunkat tehát módosított formában úgy fogalmazhatjuk meg, hogy *ha két bolygó keringési ideje közelítőleg összemérhető, akkor konfigurációik közelítőleg $p'T \approx pT'$ időközönként ismétlődnek*. Mivel így a perturbáló erők is közelítőleg periodikusan változnak, bekövetkezhet az az eset, hogy az egyébként kis perturbációk felerősödve rezonáns perturbációkként jelentkeznek.

A Naprendszerben a pályamenti keringések rezonanciájára számos példa található, és célunk az, hogy a következőkben áttekintést adjunk a legfontosabb esetekről. A rezonancia más, fontos típusaival területmi okok miatt itt nem foglalkozhatunk, s így például az égitestek tengelyforgása, valamint pályamenti keringése közti rezonanciák (Merkúr, Vé-

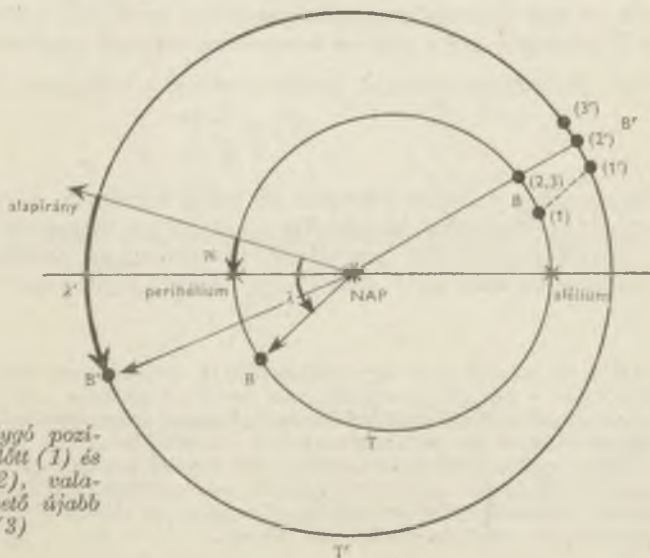
nusz, Hold, a Mars holdjai, néhány jupiter- és szaturnuszhold), továbbá az égitestek tengelyforgása és a körülöttük keringő mesterséges holdak pályamenti mozgása közti rezonanciák (például szinkron mesterséges holdak) ismertetésétől el kell tekintenünk.

A rezonancia vizsgálata

Nézzük meg, hogyan „működik” a rezonancia! Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a külső B' bolygó pályája kör alakú, a belső B-é ellipszis (1. ábra), a két pálya egy síkba esik, továbbá hogy B tömege elhanyagolható B' tömegéhez képest ($m \ll m'$). Ekkor B' mozgását gyakorlatilag csak a Nap gravitációs vonzása határozza meg, míg B-ét a B' bolygó is befolyásolja. Vizsgáljuk ez utóbbi hatást!

B' akkor vonzza B-t legerősebben, mikor egymáshoz „legközelebb” vannak. Ez közelítőleg az együttálláskor következik be (azaz akkor, ha N, B, B' egy egyenesbe esik, úgy, hogy N nincs a B és B' között), illetve pontosan az olyan együttálláskor, ha B aféliumban van.

Tegyük fel, hogy az együttállás B aféliuma után, de a perihélium előtt következik be (1. ábra)! Az együttálláskor a B' által B-re kifejtett vonzóerő a Nappal ellentétes irányba mutat, ugyanakkor B a Naphoz képest közeledik, hiszen pályája mentén az aféliumból a perihélium



1. ábra. Két bolygó pozíciói együttállás előtt (1) és együttálláskor (2), valamint az ezt követő újabb együttállás előtt (3)

felé halad. Az együttállás körül tehát B' gyorsítja B mozgását.* Mindezek eredményeként B energiája nő, a pálya mérete tágul, *s nagyobb lesz a T keringési idő is*. Jóllehet ez a változás kicsi, az együttállások bekövetkezésének helyét mégis jelentősen módosíthatja. Ha (1) közelítőleg teljesül, úgy közelítőleg $p'T \approx pT'$ idő múlva B és B' ismét együttállásba kerül. Az együttállás helye azonban valamivel távolabb lesz B aféliumától, mint előzőleg! Ugyanis B — nagyobbá vált keringési ideje miatt — a korábbinál kisebb szögsebességgel mozog, s így mire (p' számú fordulat után) visszatér az előző együttállás helyére, B' már előbbre jár pályája mentén (3. jelű helyzet). *Az újabb együttállás tehát a perihéliumhoz közelebb jön létre*, s e folyamat ismétlődésével az egymást követő együttállások helye B perihéliumához egyre közelebb és közelebb jut. (Fentiekben hallgatólagosan feltételeztük, hogy $p'T \approx pT'$ idő alatt csak egy együttállás lehetséges, ez akkor teljesül, ha $p' = p+1$.)

Hasonló megfontolással kimutatható, hogy ha az együttállás a perihélium után, de az afélium előtt következik be, akkor a fenti folyamat *ellenkező értelemben* játszódik le, s az egymást követő együttállások helye B keringésével ellentétes irányból közelít a perihéliumhoz.

A vizsgált modellben tehát a B' bolygó perturbáló ereje úgy igyekszik B mozgását „beszabályozni”, hogy *együttállásaik B perihéliuma közelében jöjjenek létre*. Minthogy a két pálya itt van egymástól legtávolabb, a két bolygó közti „legkisebb távolságok” is itt a legnagyobbak. A két bolygó tehát arra törekszik, hogy egymást minél távolabb elkerülje. Ennek eredménye az lesz, hogy az együttállásokra mindig B perihéliumának egy nem túl nagy környezetében kerül sor, s következésképpen a T keringési idő a pontos összemérhetőségnek megfelelő

$$T_r = \frac{p}{p'} T'$$

úgynevezett *rezonáns keringési idő* körül ingadozik. A rezonancia tehát ebben az értelemben *stabilizálja* a két bolygó mozgását.

Az előzőekben leírt „szabályozó mechanizmus” működésbe lépésének lényeges feltétele az (1) összefüggés közelítő pontosságú teljesülése. Sőt,

* B és B' valamivel az együttállás *előtt* (1. jelű helyzet) van egymáshoz legközelebb, a pályák egymástól való növekvő eltérése, „széttartása” miatt; s — mivel a belső pályán keringő bolygó szögsebessége nagyobb — az együttálláskor (2. jelű helyzet) a B éri utol B'-t. Így B „hátrább” van, amikor legközelebb jut társához. Az együttállásig (közelítőleg) tehát B' *gyorsítja* B-t. Az együttállás után B már „előbbre” jár mint B', tehát az utóbbi *fékezheti* is. Összességében azonban az együttállás előtti gyorsítás jelentősebb, mint az azt követő fékezés.

a közelítés nem lehet akármilyen, hanem a keringési időknek jó közelítéssel kell összemérhetőeknek lenniök. Hogy mit nevezünk jó közelítésnek, arra számszerű válasz nehezen adható, értékét mindig a vizsgált bolygókkal és pályájukkal kapcsolatos adatok határozzák meg (1—2%-os pontosság azonban jó közelítésnek számít). Általános tapasztalat szerint a legfontosabb feltétel, hogy p és p' *kis egész számok* legyenek, a rezonancia-perturbációk ugyanis ekkor érhetnek el nagy értékeket.

Ha a keringési idők jó közelítéssel való összemérhetősége nem teljesül, akkor — mint egyszerűen belátható — a két bolygó egymást követő együttállásai végigvándorolnak B teljes pályája mentén, s a pálya perihéliumának nem lesz kiüntetett szerepe. Ebben az esetben T' mindig T_r alatt vagy felett marad. Összefoglalóan megállapíthatjuk tehát, hogy rezonancia akkor léphet fel, ha a keringési idők jó közelítéssel kis egész számok hányadosaként írhatók fel.

Két bolygó rezonanciája nemcsak az eddigiekben tárgyalt módon valósulhat meg. A bolygók tömegétől, pályájuk méretétől, alakjától és elhelyezkedésétől függően többféle eset lehetséges.*

Az eddigiekből látható, hogy a pályamenti keringések rezonanciájának vizsgálatában alapvető fontosságú az együttállások helyének tanulmányozása. A probléma matematikai leírása során célszerű a keringési időkről az n , n' középmozgásokra (közepes pályamenti szögsebességekre) áttérni. Definíció szerint:

$$n = \frac{2\pi}{T}; \quad n' = \frac{2\pi}{T'}.$$

Így (1) figyelembevételével a középmozgások összemérhetőségének feltétele:

$$\frac{n}{n'} = \frac{p'}{p}.$$

Mivel $n > n'$ (az 1. ábrán B szögsebessége nagyobb B'-énél), azért szokás az

$$\frac{n}{n'} = \frac{p+q}{p} \quad (2)$$

* Például, ha az 1. ábrán a B' bolygó kör alakú pályája B ellipszispályáján belül helyezkedik el, az együttállások B aféliuma körül jönnek létre — ha jó közelítéssel teljesülnek a fent említett feltételek: a keringési idők összemérhetősége kis p , p' mellett, és $p = p' + 1$. Ez az eset valósul meg pl. a Plútó—Neptunusz-rendszer esetében (ld. ott), vagy egy, a Jupiter pályáján kívül keringő kisbolygóra.

írásmód használata, ahol p és q relatív prím egész számok. Eddigi tapasztalataink alapján mondhatjuk, hogy rezonancia akkor léphet fel, ha a (2) összefüggés kis p és q mellett, jó közelítéssel teljesül.

Az együttállások helyének megadására a Φ rezonanciaváltozót lehet használni. Ennek definíciója az 1. ábrán vizsgált esetben:

$$\Phi = (p+q)\lambda' - p\lambda - q\tilde{\omega} \quad (3)$$

ahol λ , λ' a közepes pályamenti hosszúságok, míg $\tilde{\omega}$ a belső B bolygó perihéliumhosszúsága.* Mivel

$$\lambda = nt + \lambda_0, \quad \lambda' = n't + \lambda_0'$$

(λ_0 és λ_0' konstans), azért (2) és (3) szerint Φ az időnek lassan változó függvénye, ha n és n' jó közelítéssel összemérhető. Másfelől a két bolygó együttállásakor $\lambda = \lambda'$, s ekkor $\Phi = q(\lambda - \tilde{\omega}) = qM$, ahol M a perturbált bolygó középanomáliája (M adja meg, hogy B adott időpontban közelítőleg milyen messze van a perihéliumtól). Mivel a gyakorlatban előforduló esetekben $q = 1$, azért ilyenkor az együttállásakor $\Phi = M$, vagyis közvetlenül meg tudjuk mondani, hogy B pályáján hol következett be az együttállás. (Ebből a szempontból természetesen a $q \neq 1$ eset sem okoz problémát.)

A rezonancia vizsgálatában tehát Φ fontos szerepet játszik, s Φ időbeli változásainak meghatározása általában nem különíthető el a bolygók pályaelem-változásainak vizsgálatától. Eddig nem említettük, de rezonancia esetén a pályaelemek is jelentős változásokat szenvedhetnek. Általában a pályák fél nagytengelyének és excentricitásának perturbációi a legnagyobbak.

A pályaelemek és Φ időbeli változásainak meghatározása többféle módon történhet. Gyakran használják erre a célra például a bolygómozgások Lagrange-féle egyenleteit, vagy a kanonikus perturbációszámítási elméleteket. Ezekkel a meglehetősen komplikált számításokkal kapcsolatban mindössze egy megjegyzésre szorítkozunk. Mindegyik elmélet sarkalatos pontja a bolygók egymásra gyakorolt hatását kifejező perturbációs függvény megfelelő formában — végtelen sor alakjában — való előállítása. A perturbációs függvény sorfejtése (a szekuláris tagok mellett) különféle *periodikus tagokból* áll. Rezonancia esetén ezek közül azok lesznek a legfontosabbak, melyek argumentuma a Φ rezonanciaváltozótól, és annak egész számú többszöröseitől függ. A pályaelemek

* Az előző lábjegyzetben említett esetben a rezonanciaváltozó:

$$\Phi = (p+q) \cdot \lambda - p\lambda' - q\tilde{\omega}.$$

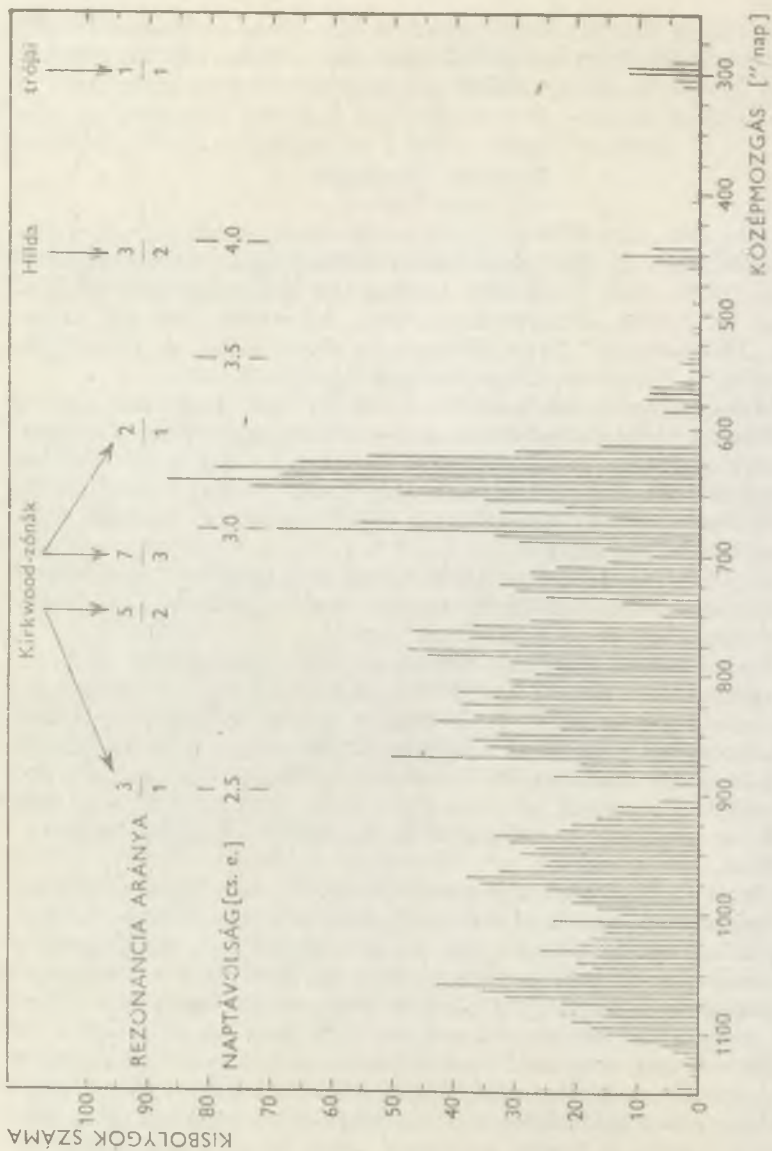
perturbációi és Φ időbeli változásai jó közelítéssel meghatározhatók, ha a perturbációs függvény sorfejtéséből csak ezeket a kritikus tagokat vesszük figyelembe, és úgy oldjuk meg a megfelelő egyenleteket.

Rezonáns kisbolygók

A 2. ábrán több mint 3000 kisbolygó középmozgás szerinti eloszlása látható a 300"/nap és 1150"/nap közötti tartományban (Froeschlé és Scholl, 1979). Ezek közül 1981 katalogizált kisbolygó, 1161 pedig a Palomar és Leiden obszervatóriumokban felfedezett, 16^m-nál halványabb „PL-objektum” (van Houten és társai, 1970). A kisbolygók eloszlásában a következő jellegzetességek figyelhetők meg:

- A kisbolygóövezet középponti részében ($n > 530$ "/nap) minimumok találhatók azokon a helyeken, ahol a középmozgásoknak a Jupiter középmozgásához ($n_J = 299$ "/nap) viszonyított aránya jó közelítéssel 2/1, 3/1, 5/2, 7/3. Ezek a *Kirkwood-féle zónák* (Kirkwood, 1867). Az eloszlás maximumai $n > 530$ "/nap esetén nincsenek kapcsolatban rezonanciákkal.
- $n/n_J = 1/1$, illetve $n/n_J = 3/2$ körül két kisbolygó-tömörülés figyelhető meg: a *trójai kisbolygók csoportja*, illetve a *Hilda-csoport*. Mindkettőhöz 30-nál is több kisbolygó tartozik.
- A Jupiter pályája és a Hilda-csoport közötti tartományban mindössze egy kisbolygó található, a 279 *Thule*, amely 4/3 arányú rezonanciában van a Jupiterrel. A Hilda-csoport és a kisbolygóövezet középponti részének széle ($n = 530$ "/nap) közti tartomány is meglehetősen üres, itt mindössze öt kisbolygó figyelhető meg. Ebből kettő *PL-objektum*, a másik három a 721 *Tabora*, az 522 *Helga* és az 1144 *Oda*, ez utóbbiak rendre közel a 7/4, 12/7, 13/8 arányú rezonanciákhoz.

Ami a fenti eloszlási képen a legszembevetőbb, az a kisbolygónak a rezonanciáknál tapasztalt eltérő viselkedése: *bizonyos rezonáns pályák üresek, mások viszont telítettek*. Ha azt is meggondoljuk, hogy a Kirkwood-zónák a Jupitertől távolabb, a rezonáns kisbolygók és kisbolygó-csoportok pedig a Jupiterhez közelebb helyezkednek el, akkor ez azt sejteti, hogy a Jupiter közelében kisbolygók csak rezonáns pályákon maradhatnak meg, míg attól távolabb a rezonáns pályák valami oknál fogva elnéptelenednek. E problémák megoldásához mindenekelőtt a rezonancia szerepének tisztázására van szükség. Ezért a következőkben először sorra vesszük a Jupiter pályájától befelé haladva a legfontosabb rezonanciákat, majd vázoljuk a kisbolygók eloszlásának lehetséges magyarázatát.



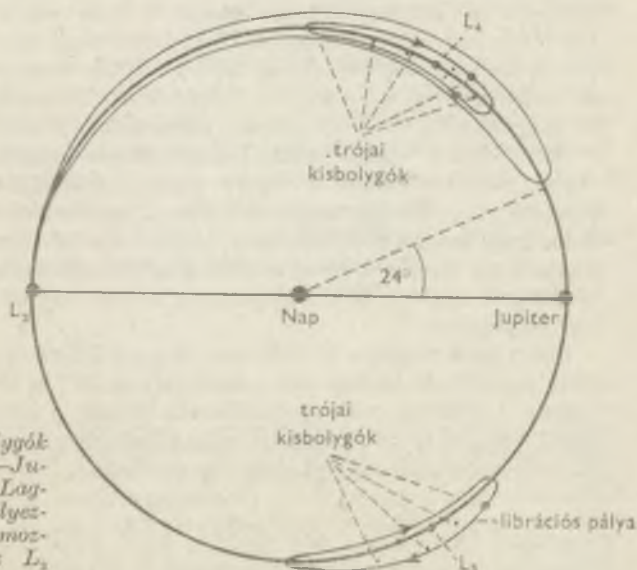
2. ábra. A kisbolygok középmozgás szerinti eloszlásának diagramja. A függőleges vonalak azt mutatják, hogy egy-egy 5"/nap szélességű középmozgás-tartományban hány kisbolygó található

A trójai kisbolygók

3/1 arányú rezonanciában vannak a Jupiterrel. Ez a rezonancia különbözik a többitől. Ennek fő oka, hogy a trójai kisbolygók a Nap—Jupiter rendszer L_1 , L_5 Lagrange-pontjai körül helyezkednek el (3. ábra), s közelítőleg a Jupiter pályáján haladva végzik napközi keringésüket, úgy, hogy eközben az L_1 vagy az L_5 pont körül is körbefordulnak. Ez utóbbi, úgynevezett *librációs mozgás* periódusa az ismert trójai kisbolygókra 148—160 év, szemben a mintegy 12 éves keringési idővel. Mint az eddigiekből kitűnik, a trójai kisbolygóknak — melyek elnevezésüket a trójai háború hőseiről kapták — két csoportjuk van: az L_1 pont körül jelenleg 25, míg az L_5 körül 10 ilyen kisbolygót ismerünk.

A librációs mozgás az L_1 , L_5 pontokra nézve asszimmetrikus: a *librációs pálya a Jupiter irányában kevésbé elnyúlt, mint ellenkezőleg*. Például az egyik legelnyúltabb librációs pályával rendelkező 1437 Diomedes szögtávolsága a Jupiterhez viszonyítva $40;1$ — $98;1$ között változik. Az elméletileg elképzelhető legelnyúltabb librációs pálya az L_3 Lagrange-pontnál végződne (3. ábra), míg a Jupiter felőli oldalon 24° -ra közelítené meg a bolygót.

A trójai kisbolygókat a librációs mozgás óvja meg attól, hogy a Jupiterhez túlságosan közel kerüljenek. Az említett 24° -os legkisebb szög-



3. ábra. A trójai kisbolygók két csoportja a Nap—Jupiter-rendszer L_1 , L_5 Lagrange-pontjai körül helyezkedik el. A librációs mozgás határgörbéje az L_3 pontnál végződik

távolság körülbelül 2 csillagászati egység (cs. e.) körüli távolságot jelent. A tapasztalat szerint a Jupiter perturbáló hatására *egy kisbolygó akkor hagyja el eredeti pályáját, ha az óriásbolygót 1 cs. e.-nél jobban megközelíti.* A trójai kisbolygók librációs mozgásuk révén tehát megfelelő védelmet nyújtó távolságban vannak a Jupitertől.

A trójai kisbolygókkal kapcsolatban számos érdekes elmélet született. Mindenekelőtt az L_4 , L_5 pontok körüli librációs mozgást tanulmányozták, amely részben az 1/1 arányú rezonancia következménye. Talán éppen az eziránt tanúsított túlzott figyelemmel magyarázható, hogy egy másik, ugyancsak a trójai kisbolygókkal kapcsolatos librációs jelenség felfedezésére csak az utóbbi években került sor. E cikk írójának számításai szerint *a trójai kisbolygók pályaeлипсzise 3200—3700 év alatt vagy körbefordul, vagy a jupiterpálya perihéliumától 60°-ra eső irány körül ingadozik (librál).* A kisbolygók pályájának excentricitásától függ, hogy melyik eset következik be: ha ennek legnagyobb értéke kisebb a jupiterpálya excentricitásának kétszeresénél, a kisbolygó pályája librál, ellenkező esetben körbefordul. Az ismert trójai kisbolygók körülbelül egyharmadánál mutatható ki a pályaeлипсzис librációs mozgása.

A Hilda-csoport

kisbolygói 3/2-es rezonanciában ($p = 2$, $q = 1$) vannak a Jupiterrel. A csoportnak jelenleg 32 tagja ismeretes, elnevezésüket a közéjük tartozó 153 Hilda kisbolygóról kapták. Pályájukat nagy excentricitás ($e = 0,1—0,2$) és kis pályahajlás jellemzi. Mivel a 3/2-es rezonancia miatt pályájuk fél nagy tengelye 3,9—4 cs. e. körül van, aféliumtávolságuk (amely a fél nagy tengely $[1 + e]$ -szerese) elérheti a 4,8 cs. e.-t. Innen adódik a Hilda-típusú kisbolygókkal kapcsolatos legérdekesebb probléma: *hogyan tudják elkerülni a Jupiter szoros megközelítését?* (Emlékeztetdül: a jupiterpálya fél nagy tengelye 5,2 cs. e., excentricitása 0,048.) Nyilvánvaló, hogy ha a kisbolygók és a Jupiter együttállásai a kisbolygók aféliuma körül jönnek létre, az 1 cs. e.-nél jóval kisebb kisbolygó—Jupiter távolságok miatt a Hilda-csoport tagjai már rég elhagyták volna jelenlegi pályájukat.

Schubart mutatta ki 1968-ban, hogy a 3/2-es rezonancia miatt a Jupiter perturbáló hatása úgy „szabályozza be” a kisbolygók mozgását, hogy a Jupiterrel való együttállásaik mindig a kisbolygók perihéliuma körül jönnek létre*. Schubart számításait először a 153 Hildára végezte el. A Φ rezonanciaváltozó ebben az esetben:

$$\Phi = 3\lambda_j - 2\lambda - \tilde{\omega}$$

* Vö. a rezonanciáról elmondott általános tudnivalókkal!

ahol λ'_J , illetve λ a Jupiter, illetve a kisbolygó közepes pályamenti hosszúsága, $\tilde{\omega}$ a kisbolygó perihéliumhosszúsága*. Schubart szerint a 153 Hilda esetében a Φ rezonanciaváltozó 0° körül, 270 éves periódussal, 40° -os amplitúdóval ingadozik, librál. Ez azt jelenti, hogy a 153 Hilda és a Jupiter együttállásai mindig a kisbolygó perihéliumának egy $\pm 40^\circ$ -os környezetében jönnek létre. A két égitest közti távolság így sosem lehet kisebb 1,87 cs. e.-nél, ami elegendően nagy ahhoz, hogy a 153 Hilda elkerülje a Jupiter erős perturbációit. Φ librációja következtében a középmozgás ugyancsak 270 éves periódussal ingadozik a pontos $3/2$ -es rezonanciának megfelelő érték ($n_r = 448''/\text{nap}$) körül, az $n = 447,4 - 451,8''/\text{nap}$ határok között.

Schubart egy másik fontos megállapítása az excentricitás és a $\tilde{\omega}$ perihéliumhosszúság együttes változására vonatkozik. E változás periódusa a 153 Hildánál 2600 év. Ezalatt a perihélium egyszer körbefordul, az excentricitás pedig felvesz egy legkisebb és egy legnagyobb értéket. Érdekes módon e akkor maximális, amikor a 153 Hilda és a Jupiter perihéliumirányai éppen egybeesnek. Maximális e -hez viszont minimális perihéliumtávolság ($a[1 - e]$) tartozik, s így — mivel az együttállásokra a kisbolygó perihéliuma körül kerül sor — ez a minimális perihéliumtávolság biztosítja, hogy a kisbolygó elég messze legyen a Jupitertől, ha együttállásukkor a Jupiter is épp a napközelpontjában lenne. Másfelől e akkor minimális, amikor a 153 Hilda napközelségének iránya a Jupiter aféliuma felé mutat, de ekkor (a maximális perihéliumtávolság ellenére is) elég távol marad a kisbolygó a Jupitertől.

A Hilda-csoport többi tagja is a 153 Hildához hasonló viselkedést mutat, két kivételtől eltekintve. Ezek a 334 Chicago és az 1256 Normannia, melyeknél Φ minden értéket felvehet 0° és 360° között, középmozgásuk pedig mindig nagyobb marad n_r -nél. Mivel pályájuk excentricitása kicsi, a Jupiterhez nem kerülnek 1 cs. e.-nél közelebb, bár a Hilda-csoport tagjai közül ezek a kisbolygók közelítik meg legjobban a Jupitert: 1,14, illetve 1,30 cs. e.-re. A két kisbolygó feltehetőleg átmeneti állapotot képvisel a rezonáns és nem rezonáns kisbolygók között.

* Innen kezdve a perturbáló égitest paraméterei mellett mindig feltüntetjük az égitest nevére utaló alsó indexet is, s ezen túl (a jupiter- és szaturnuszholdakra vonatkozó fejezet kivételével) továbbra is ' -vel különböztetjük meg. Tehát pl. a Jupiter esetében mindig n'_J , λ'_J , stb. szerepel majd. Az indexben szereplő r betű (pl. n_r) a rezonáns értékre vonatkozik, míg a perturbált égitest paramétereit a névre utaló esetleges alsó indexen túl továbbra is felső vessző nélkül közöljük. Ez a jelölési mód összhangban van az általános részben alkalmazott B, B' jelölésekkel. (A szerk.)

A 4/3, 13/8, 12/7, 7/4 arányú rezonanciák

A 4/3 arányú rezonanciánál ($p = 3, q = 1$) található 279 Thule mozgása a Hilda-típusú kisbolygókéhoz hasonló. A

$$\Phi = 4\lambda'_J - 3\lambda - \omega$$

rezonanciaváltozó itt is 0° körül librál, míg az n középmozgás az $n_r = 399''/\text{nap}$ érték körül ingadozik. A Jupiter és a kisbolygó együttállásaira itt is ez utóbbi *perihéliuma* körül kerül sor, és ez megfelelő védelmet nyújt az erős perturbációk ellen.

Az 1144 Oda 13/8-os, az 522 Helga 12/7-es, a 721 Tabora 7/4-es rezonanciában van a Jupiterrel. A pontos rezonancia-középmozgások rendre $486''/\text{nap}$, $513''/\text{nap}$, $523''/\text{nap}$. Froeschlé és Scholl 1979-ben végzett számításai szerint Φ mindhárom esetben 0° -tól 360° -ig változik. A *Jupiterrel való együttállásaik így pályájuk bármely pontján bekövetkezhetnek*. Mivel aféliumtávolságuk elérheti a 4 cs. e.-et, azt lehetne gondolni, hogy a Jupiterhez 1 cs. e.-nél közelebb kerülhetnek. Ettől azonban az excentricitás és a perihélium argumentuma együttes változásának módja óvja meg a kisbolygókat. (A perihélium argumentuma: a pálya nagytekergőnek a csomóvonallal bezárt szöge, melyet ω -val jelölünk; a csomóvonal esetünkben a kisbolygó és a Jupiter pályasíkjának metszészvonala.) Eszerint e minimális, ha $\omega = 0^\circ$ vagy 180° (azaz, ha a kisbolygók pályájának nagytekergője a Jupiter pályasíkjába esik), míg e maximális, ha $\omega = 90^\circ$ vagy 270° (azaz, ha a kisbolygók perihéliuma és aféliuma a Jupiter pályasíkjától a legmesszebb helyezkedik el). Így amikor a kisbolygók aféliumtávolsága (vagy ami ezzel egyenértékű: excentricitása) maximális, akkor aféliumuk éppen legtávolabb esik a Jupiter pályasíkjához, és ez a lehető legnagyobb teszi a kisbolygók és a Jupiter közti távolságot az afélium környékén való együttálláskor. Az 1144 Oda és az 522 Helga esetében az n középmozgás n_r körül ingadozik, a 721 Taboránál n mindig n_r -nél nagyobb marad.

A Kirkwood-zónák

a 2/1, 7/3, 5/2, 3/1 arányú rezonanciáknál helyezkednek el. Legélesebben (mint az a 2. ábráról látható) 2/1-nél a Hecuba-zóna, 3/1-nél a Hestia-zóna jelentkezik.

A Hecuba-zóna

$n_r = 598''/\text{nap}$ körül található ($p = 1, q = 1$), elnevezését az ehhez közeledő 108 Hecuba kisbolygóról nyerte. A zónát a 401 Ottilia ($n_{\max} = 583''/\text{nap}$) és a 903 Neally ($n_{\min.} = 601''/\text{nap}$) határolja (Schweizer,

1969). Franklin és társai (1975) szerint a zóna nem üres, rajta négy kisbolygó halad keresztül, nevezetesen az 1125 China, az 1362 Griqua, az 1921 1973 SE és az 1922 1949 HC. Felvetődik a kérdés: *ha a zóna nem üres, akkor milyen értelemben beszélünk a hatáiról?* (Látszólag a zónát éppen az tüntetné ki, hogy nincsenek benne kisbolygók.)

Az n_r közelében található több száz kisbolygó mozgásegyenleteinek numerikus integrálásával kimutatható, hogy ezek többségénél n mindig n_r alatt vagy felett marad, a

$$\Phi = 2\lambda_J - \lambda - \omega$$

rezonanciaváltozó pedig 0° -tól 360° -ig változik, *nem librál*. Ezek közül a 401 Ottilia és a 903 Neally középmozgása közelíti meg leginkább az n_r értéket. A zóna *határait* tehát azok a kisbolygók jelölik ki, amelyeknél $\Phi 0^\circ$ és 360° között minden értéket felvehet, és középmozgásuk legjobban megközelíti n_r értékét.

A zónán áthaladó négy kisbolygó esetében n az n_r körül ingadozik, a $\Phi 0^\circ$ körül librál. Tipikus képviselőjük az 1362 Griqua. Az alábbiakban ezért csak a rá vonatkozó eredményeket ismertetjük (Franklin és társai, 1975). Mivel az 1362 Griqua pályájának excentricitása nagy ($e = 0,31 - 0,37$) és $a = 3,214 - 3,346$ cs. e., ezért aféliumtávolsága elérheti a 4,4 cs. e.-et. Így az erősen elnyúlt pálya miatt ugyanaz a probléma lép fel, mint a Hilda-típusú kisbolygóknál. A válasz is megegyezik: Φ az 1362 Griqua esetében is 0° körül librál, így a Jupiterrel való együttállásai a kisbolygó pályájának *perihéliuma* körül jönnek létre. A Jupitertől való legkisebb távolsága így 2,2 cs. e. A libráció amplitúdója 100° , periódusa 370 év. A fél nagytengely, a középmozgás és az excentricitás is ezzel a periódussal változik. Az a és e változásait fentebb már megadtuk, míg n az n_r körül ingadozik: $n = 580 - 616''/\text{nap}$.

A Hestia-zóna

$n_r = 897''/\text{nap}$ körül helyezkedik el, a névadó kisbolygó a 46 Hestia. Csebotarev (1973) szerint a zónát az 1722-es katalógusszámú kisbolygó ($n_{\max} = 892''/\text{nap}$) és az 1381 Danubia ($n_{\min} = 901''/\text{nap}$) határolja. Ezeknek és a zóna környékén elhelyezkedő kisbolygóknak a

$$\Phi = 3\lambda_J - \lambda - 2\omega$$

rezonanciaváltozója 0° -tól 360° -ig minden értéket felvehet, középmozgásuk pedig mindig n_r alatt vagy felett marad (hasonlóan a Hecuba-zónánál mondottakhoz).

A zónán két kisbolygó, a 887 Alinda és az 1953 EA halad keresztül.

Mozgásukat Scholl és Froeschlé (1974) részletesen tanulmányozta. A két kisbolygó hasonló viselkedést mutat, így csak a 887 Alindára vonatkozó eredményeket említjük. A korábbiaktól eltérően a Φ itt nem 0° , hanem 180° körül librál, mintegy 100° -os amplitúdóval, 360 éves periódussal. A 887 Alindának a Jupiterrel való együttállásai így a kisbolygó *perihéliumától $\pm 90^\circ$ -kal eltérő irányok* körül jönnek létre.* Az említett irányok körül az együttállások helye 50° -os amplitúdóval ingadozik, ezekre tehát az aféliumtól távol kerül sor. Ez biztosítja, hogy a 887 Alinda ne kerüljön a Jupiterhez 2,15 cs. e.-nél közelebb, annak ellenére, hogy pályájának nagy excentricitása ($e = 0,52 - 0,63$) és $a = 2,465 - 2,538$ cs. e. miatt az aféliumtávolság 4 cs. e. körül van. A középmozgás n_r körül ingadozik: $n = 878 - 917''/\text{nap}$, a 360 éves librációs periódussal. Ugyanez e és a változásának periódusa is.

A 7/3-os és 5/2-es rezonanciánál elhelyezkedő Kirkwood-zónák

($n_r = 698''/\text{nap}$, illetve $748''/\text{nap}$) nem válnak ki olyan élesen környezetiükből, mint az előző két esetben. Az ezek közelében található kisbolygók Φ rezonanciaváltozója 0° -tól 360° -ig változik, és nincs olyan kisbolygó, amelynek középmozgása n_r körül ingadozna.

A kisbolygóeloszlás lehetséges magyarázata

A kisbolygók eloszlásának égimechanikai módszerekkel történő vizsgálatakor abból a feltevésből szokás kiindulni, hogy a Mars és a Jupiter pályája között mindenütt lehetnek kisbolygók. Nem szükséges, hogy ezek egy időben létezzenek, a vizsgálatok célja az, hogy megállapítsuk: *ha valahol volt vagy van egy kisbolygó, annak pályája időben hogyan változik*. Mivel a kisbolygók mozgását legerősebben a Jupiter perturbálja, a legnagyobb változásokat a Jupiter pályájához közeli pályákon mozgó kisbolygók szenvedik. Lecar és Franklin (1973) számításai szerint néhány ezer év elegendő ahhoz, hogy a Jupiter perturbáló hatására a Jupiterhez közeli kisbolygópályák elnéptelenedjenek. A rezonancia mechanizmusa azonban megóvhatja a kisbolygókat a Jupiter szoros megközelítésétől, védelmet nyújtva ezáltal az erős, a pályát alapvetően megváltoztató perturbációkkal szemben. A rezonanciának köszönhetően maradhattak meg jupiterközeli pályájukon a trójai kisbolygók, a Hilda-

* Együttálláskor ugyanis $\lambda_r = \lambda$, így $\Phi = 2(\lambda - \omega) = 2M$. Mivel Φ középértéke 180° , M -é 90° . Másfelől a 3/1 rezonancia miatt míg a Jupiter fél fordulatot tesz meg, addig a 887 Alinda másfelet, így ha valamely M -nél együttállás van, akkor ez $M + 180^\circ$ -nál is bekövetkezik.

csoport tagjai és a 273 Thule. Nem tisztázott azonban, hogy más rezonanciáknál miért nem maradtak meg kisbolygók.

A Hilda-csoporttól az $n = 530^\circ/\text{nap}$ -ig terjedő övezet is meglehetősen üres, hiszen itt mindössze öt kisbolygó ismeretes. Froeschlé és Scholl (1979) vizsgálta e tartomány elnéptelenedésének problémáját (a Hilda-csoport és a trójai kisbolygók közti sáv az ő számításaik szerint is néhány ezer év alatt kiürül). Képzeltbeli kisbolygók mozgásegyenleteinek numerikus integrálásával követték nyomon a pályák alakulását. Mintegy 60 000 év elteltével a kisbolygók száma erősen lecsökkent, és ezután nem változott lényegesen. A visszamaradó kisbolygók száma azonban *nagyobb* a megfigyeltnél. Ez az ellentmondás talán feloldható, ha figyelembe vesszük a visszamaradó kisbolygók „védőmechanizmusát”, az e és ω egybehangolt változásának módját, amelyre pl. az 522 Helga esetében, a 12/7-es rezonancia vizsgálatánál már utaltunk. Eszerint az e akkor maximális, mikor a kisbolygó perihéliuma a legtávolabb van a Jupiter pályasíkjától. Mivel maximális e -hez minimális perihéliumtávolság ($a[1-e]$) tartozik, a kisbolygó ilyenkor kerülhet legközelebb a Földhöz, megfigyelésére tehát ez az időszak a legalkalmasabb. A kisbolygók után ezért *magas ekliptikai szélességeken* kellene kutatni — ez növelhetné a szóban forgó tartományban az ismert kisbolygók számát.

Átérve a Kirkwood-zónákra, idézzünk fel két fontos megállapítást:

- A zónák körüli kisbolygóknál a Φ 0° -tól 360° -ig változik, a középmozgás mindig n_r alatt vagy fölött marad.
- A zónákon áthaladó néhány kisbolygónál a Φ librál, a középmozgás n_r körül ingadozik.

Így a zónák megjelenése tulajdonképpen azzal függ össze, hogy kevés olyan kisbolygó van, amelynél n az n_r körül ingadozik. A kérdés tehát az, hogy miért kevés az ilyen kisbolygó?

Láttuk, hogy a rezonancia jelensége *önmagában* nem távolítja el a kisbolygókat pályájukról, sőt éppen ellenkezőleg: a rezonancia bizonyos értelemben stabilizálja a kisbolygók mozgását. Jefferys (1967) vetette fel Brouwer (1963) egy munkájához kapcsolódva azt a gondolatot, hogy a kisbolygók egymás közötti ütközései jelentős szerepet játszhatnak a Kirkwood-zónák kialakításában. Az ütközési hipotézist Sinclair (1969) fejtezte ki részletesebben. Annak a valószínűsége, hogy egy kisbolygó összeütközzön egy másikkal annál nagyobb, minél több más kisbolygópályán halad keresztül. Mivel a rezonáns kisbolygók perturbációi *nagyobbak* a szokásosnál, excentricitásuk (e) is jelentősen változik; pályájuk erősen elnyúlt lesz, ami megnöveli a szomszédos, nem rezonáns kisbolygókkal való ütközés valószínűségét. Ütközéskor az eredeti pályák megváltoznak, és nagyobb valószínűséggel *nem rezonáns* pályák jönnek létre. A rezonáns pályák az ütközések révén így fokozatosan *elnéptelenednek*. Kérdéses persze az ütközések gyakorisága, bár vannak

olyan becslések, amelyek szerint a kisbolygok „életük” folyamán több ütközést is szenvedhetnek.

Mivel a Kirkwood-zónákban jelenleg már csak néhány kisbolygó található, Scholl és Froeschlé 1974–75-ben megvizsgálta a Kirkwood-zónákba helyezett képzeletbeli kisbolygók pályaelemváltozásait, a mozgásegyenletek numerikus integrálásával. Megállapították, hogy a Φ és e változása szorosan összefügg egymással: ha a Φ librál, e változása nagy; ha a Φ 0° és 360° között minden értéket felvehet, úgy e csak kicsit változik. Az e változása legnagyobb a zónák közepén, kifelé haladva e változásának mértéke csökken. A kicsi (0,04–0,08 közötti) kezdeti e értékek hosszabb idő alatt 0,3 fölé is nőhetnek! Nagyobb kezdőértékek esetén a változások még nagyobbak. A nagy excentricitásváltozások miatt a Kirkwood-zónák kialakításában az ütközések tehát jelentős szerepet játszhattak. A fenti számítási eredményeket a megfigyelések is megerősítik: A Kirkwood-zónák környékén kis excentricitású kisbolygópályák helyezkednek el, míg a zónákban megmaradt néhány kisbolygó (1362 Griqua, 887 Alinda) pályájának excentricitása nagy.

Ezek után jogos a kérdés, hogy vajon a Hilda-típusú kisbolygókat az ütközések miért nem térítették más pályákra? A válasz kézenfekvő: a Hilda-csoport környékéről a Jupiter erős perturbációi gyorsan más pályákra térítik a kisbolygókat, így a csoport tagjainak (melyeket a rezonancia tart meg) nincs mivel ütközniök. A Kirkwood-zónák távolságában viszont a Jupiter perturbációi már nem elég erősek ahhoz, hogy a zónák környékéről a kisbolygókat eltérítsék, így ezek kellő számú „társat” szolgáltathattak a zónákból „kilátogató” kisbolygóknak az ütközésekhez.

Rezonáns jupiter- és szaturnuszholdak

A rezonancia egyik legérdekesebb esete a Jupiter három holdjánál, nevezetesen az Io, Europa és Ganümedesz esetében található. Ezek közepmozgása rendre $n_I = 203\frac{1}{4}$ /nap, $n_E = 101\frac{1}{3}$ /nap és $n_G = 50\frac{1}{2}$ /nap. Így jó közelítéssel.

$$\frac{n_I}{n_E} = \frac{2}{1}, \quad \frac{n_E}{n_G} = \frac{2}{1};$$

másrészt;

$$n_I - 3n_E + 2n_G = 0$$

és ez utóbbi Laplace-féle összefüggés (Laplace, 1805) nyolc tizedesjegy pontossággal teljesül. A három hold tehát páronként és együttesen is rezonanciában van egymással. Ez szigorú kötöttségeket jelent mozgásukban.

A többszörös rezonancia miatt többféle rezonanciaváltozó definiálható. Ezeket és a változásukra jellemző adatokat Sinclair (1975) nyomán az alábbiakban foglaljuk össze:

1. táblázat

Három jupiterhold rezonanciaváltozó*

Rezonanciaváltozó (Φ)		Φ változásának		
		középértéke	amplitúdója	periódusa
$\lambda_I - 3\lambda_E + 2\lambda_G$	(4)	180°	$0,03^\circ$	2000 nap
$2\lambda_E - \lambda_I - \tilde{\omega}_I$	(5)	0°	1°	450 nap
$2\lambda_E - \lambda_I - \tilde{\omega}_E$	(6)	180°	3°	450 nap
$2\lambda_E - \lambda_E - \tilde{\omega}_E$	(7)	0°	3°	450 nap

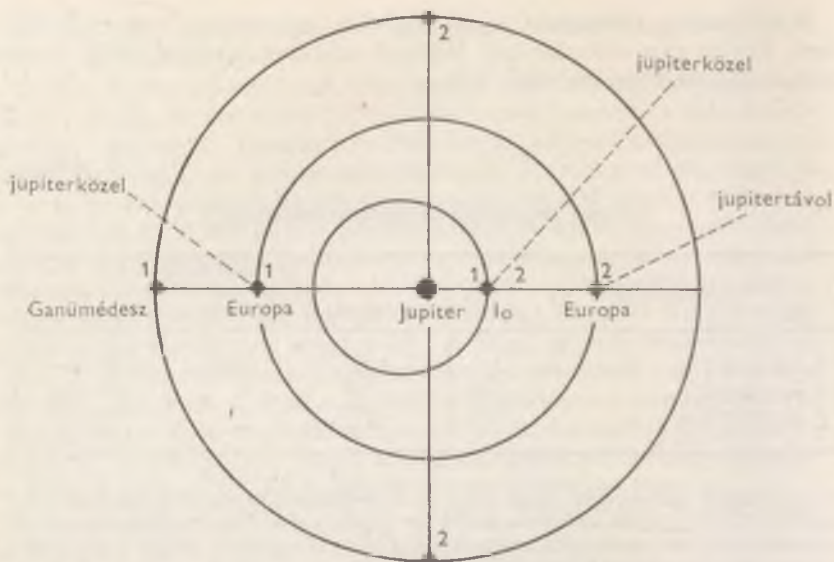
*a λ közepes pályamenti hosszúság és $\tilde{\omega}$ perihéliumhosszúság mellett szereplő I, E, G indexek értelemszerűen az Io, Europa, Ganümedesz holdakra vonatkoznak. Φ mindegyik esetben az adott középérték körül ingadozik, a megadott amplitúdóval és periódussal.

A (4) — (7) összefüggésekből a három hold együttállásainak helyére következtethetünk (4. ábra). (4)-ből következik, hogy az *Europa és a Ganümedesz együttállásakor* ($\lambda_E = \lambda_G$) a $\Phi = \lambda_I - \lambda_E \approx 180^\circ$, s így az Io hozzájuk képest majdnem pontosan 180° -kal eltérő helyzetben található. (7) szerint viszont az együttállás akkor jön létre, mikor az Europa pályájának a Jupiterhez legközelebb eső pontja közelében, „perijoviumban” tartózkodik (ugyanis $\lambda_E = \lambda_G$ miatt $\Phi = \lambda_G - \tilde{\omega}_E = \lambda_E - \tilde{\omega}_E = M_E \approx 0^\circ$). Ezt a helyzetet jelöltük a 4. ábrán 1-es számmal.

(5)-ből az következik, hogy az *Io és az Europa együttállásakor* ($\lambda_I = \lambda_E$) az Io jó közelítéssel perijoviumban, az Europa pedig (6) szerint pályájának a Jupitertől legtávolabb eső pontjában van. Hozzájuk képest a Ganümedesz 90° -kal előre vagy hátra eltolódva található, amint az (4)-ből látható. (Ezt a helyzetet a 2-es szám jelzi a 4. ábrán). A három hold tehát soha nem sorakozhat fel a Jupiter ugyanazon oldalára, *hármass együttállás nem lehetséges*.

A Szaturnusz holdjai között három olyan pár (Mimas—Tethys, Enceladus—Dione, Titan—Hyperion) található, melyeknél a középmozgások aránya jó közelítéssel kis egész számok hányadosaként írható fel. Ezek a következők:

$$n_M/n_{T_e} = 2/1, \quad n_E/n_D = 2/1, \quad n_T/n_H = 4/3.$$



4. ábra. A jupiterholdak együttállásai. A pályák kis excentricitású ellipszisek. A három hold helyzetét feltüntettük mind az Europa és a Ganüimédesz (1), mind az Io és Europa együttállásakor (2)

A középmozgások rendre: $n_M = 15;9/\text{óra}$, $n_{T_e} = 7;9/\text{óra}$, $n_E = 10;9/\text{óra}$, $n_D = 5;5/\text{óra}$, $n_{T_i} = 0;94/\text{óra}$, $n_H = 0;70/\text{óra}$. Az egyes párok Φ rezonanciaváltozója, annak középértéke, változásának amplitúdója és periódusa Greenberg (1977) szerint a következő:

2. táblázat

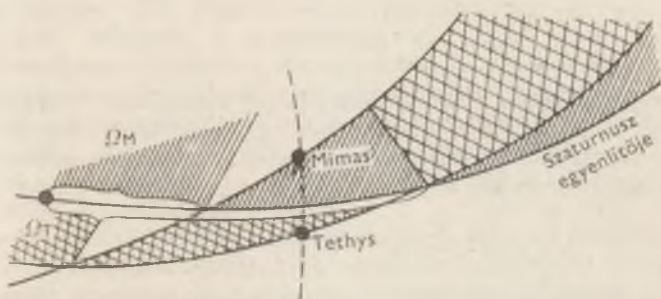
Hat szaturnuszhold rezonanciaváltozóí*

Holdak	rezonanciaváltozó (Φ)	Φ változásának		
		közép- értéke	ampli- túdója	periódusa
Mimas—Tethys	$4 \lambda_{T_e} - 2 \lambda_M - \Omega_M - \Omega_{T_e}$ (8)	0°	97°	70,8 év
Enceladus—Dione	$2 \lambda_D - \lambda_E - \tilde{\omega}_E$ (9)	0°	1°	12 év
Titan—Hyperion	$4 \lambda_H - \lambda_{T_i} - \tilde{\omega}_H$ (10)	180°	36°	1,8 év

* Ω_M és Ω_{T_e} a Mimas és Tethys pályájának felszálló csomóhosszát jelöli a Szaturnusz egyenlítőjére vonatkoztatva.

(8) szerint a *Mimas és Tethys együttállásai* a felszálló csomók közti felezőpont körül következnek be (5. ábra). A két hold kölcsönös perturbációi az együttállások helyét tulajdonképpen a két pálya közös csomópontjától 90° -ra eső egyensúlyi helyzetek felé irányítják, a Szaturnusz lapultsága miatt azonban e két közeli hold pályasíkja gyorsan forog, és az együttállások helyét e két hatás együttesen határozza meg a fenti módon. A Mimas-Tethys rendszer rezonanciája úgynevezett *pályahajlás-típusú rezonancia* (létrejöttükben a pályahajlásnak van fontos szerepe), szemben a korábban megismertekkel, az úgynevezett *excentricitás-típusúakkal*, ahol csak a pályák lapultsága volt lényeges, azaz az együttállások a pályaellipszis egyik vagy másik „végpontja” körül jöttek létre.

(9) szerint az *Enceladus és Dione együttállásai* ($\lambda_E = \lambda_D$) akkor jönnek létre, amikor az Enceladus pályájának a Szaturnuszhoz legközelebbi pontján halad keresztül. (10) alapján a Titan és Hyperion esetében az együttállások a Hyperion pályájának a Szaturnusztól legtávolabb eső részénél következnek be.

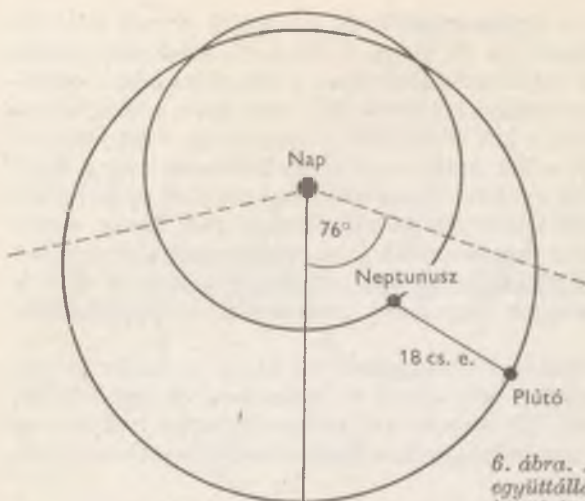


5. ábra. A *Mimas és Tethys együttállásai* a felszálló csomók közti felezőpont körül következnek be

A Plútó—Neptunusz-rendszer rezonanciája

Gyakran találkozhatunk azzal a nézettel, hogy a Plútó valamikor a Neptunusz holdja volt. Ennek a vélekedésnek az a formai alapja, hogy a két bolygópálya a Plútó pályájának nagy excentricitása ($e = 0,25$) miatt az ekliptika síkjára való vetületben metszi egymást (6. ábra), így a két bolygó *látszólag* igen közel kerülhet egymáshoz.

Cohen és Hubbard (1965) vizsgálatai szerint azonban a Plútó—Neptunusz-rendszer $3/2$ -es rezonanciája ($n_P = 14,2^\circ/\text{nap}$, $n'_N = 21,5^\circ/\text{nap}$, így $n'_N/n_P = 3/2$) kizárja a szoros megközelítések lehetőségét. A két



6. ábra. A Plútó és a Neptunusz együttállásai a Plútó aféliuma körül jönnek létre

bolygó együttállásai a *Plútó aféliuma* körül jönnek létre (összhangban a 171. old. lábjegyzetében írottakkal), a legkisebb Plútó – Neptunusz távolság is itt fordul elő, ennek értéke 18. cs. e. (Összehasonlításképp a fél nagytengelyek értéke: $a'_N = 30,1$ cs. e., $a_P = 39,5$ cs. e.) A

$$\Phi = 3\lambda_P - 2\lambda'_N - \tilde{\omega}_P$$

rezonanciaváltozó értéke 180° körül 76° -os amplitúdóval, 19670 éves periódussal librál, és ez a jelenség hosszú (millió éves) időtartamon keresztül is igen nagy stabilitást mutat.

A két bolygó egymástól való távolmaradását az is elősegíti, hogy a plútópálya nagytengelyének iránya a két pálya közös csomópontjától átlagosan 90° -ra esik. Williams és Benson (1971) számításai szerint a plútópálya nagytengelyének iránya ezen érték körül 24° -os amplitúdóval, körülbelül négy millió éves periódussal ingadozik. Így — mivel a két bolygó pályasíkja 14° -os szöget zár be egymással — a *Plútó és Neptunusz együttállásakor a Plútó nem lehet a Neptunusz pályasíkjának a közelében.*

Jóllehet ezek az eredmények nem cáfolják véglegesen azt, hogy a Plútó a Neptunusz holdja volt — hiszen a librációs mechanizmus a Plútó „kiszakadása” után is kialakulhatott — a feltételezés *formai* okát azonban alaptalanná teszik.

Összefoglalás

A naprendszerbeli égitestek pályamenti keringéséből adódó rezonanciákat vizsgáltuk. Rezonancia akkor lép fel, ha a középmozgások (keringési idők) jó közelítéssel kis egész számok hányadosaként fejezhetők ki. A rezonancia egyik legfontosabb megnyilvánulása az *együttállások helyének valamely egyensúlyi helyzet köré való „beszabályozódása”*. Ez a ki-tüntetett hely rendszerint az ellipszispálya nagytengeleyének valamelyik végpontja. Az együttállások helyét megadó Φ rezonanciaváltozó az egyensúlyi helyzet körül kisebb-nagyobb amplitúdóval, a keringési időknél sokszorta hosszabb periódussal ingadozik, librál. A középmozgás a pontos rezonanciának megfelelő érték körül a librációs periódussal ingadozik.

A pályamenti keringési rezonanciáknak csak a legfontosabb eseteit ismertettük. Nem térünk ki például a Földdel vagy a Vénusszal rezonanciába kerülő, elnyúlt pályájú kisbolygók problémájára (Föld—1685 Toro: 8/5, Vénusz—1685 Toro: 13/5, Föld—1221 Amor: 8/3), a Jupiterrel időszakosan rezonáns rövid periódusú üstökösök kérdésére (Jupiter—Arend-Rigaux: 2/3, Jupiter—Pons-Winnecke: 1/2, Jupiter—Neujmin 1: 3/2), valamint a szaturnuszgyűrűk közti récek esetleges rezonáns eredetére. Másfelől a rezonanciákat lényegében csak egyféle szempontból, az együttállások *helyének* beszabályozásában való megnyilvánulásán keresztül tárgyaltuk. A rezonáns és a rezonanciához közeli bolygók, holdak, kisbolygók mozgásméleteivel kapcsolatos kérdésekre nem térhettünk ki. A felsorolt problémák is jelzik a rezonancia témakörének gazdagságát.

Befejezésül említjük azt az Ovenden-től és Roy-tól (1954) származó — és az eddigiekben remélhetőleg sikeresen érzékeltetett — megállapítást, amely szerint *a Naprendszerben a rezonanciák száma jóval nagyobb annál, mint ami a középmozgások véletlenszerű eloszlásából következne*. Valószínű, hogy a rezonanciák nem az égitestek kialakulásakor, hanem hosszabb idő alatt jöttek létre. A rezonanciaproblémák tehát szorosan összefüggnek a Naprendszer dinamikai fejlődésével.

**A CSILLAGÁSZATI FOTOMETRIA KALIBRÁLÁSA
EFFEKTÍV HŐMÉRSÉKLETRE ÉS FELSZÍNI
NEHÉZSÉGI GYORSULÁSRA**

A csillagok színeképét a megfigyelési tapasztalatok alapján *vonalas* és *folytonos* színeképre osztjuk föl. Mindazonáltal tudjuk, hogy a színekép mindkét részének megértéséhez ugyanazon problémával nézünk szembe: meg kell határoznunk, hogy miképpen alakul egy alulról, a csillag belseje felől átvilágított vastag gázrétegből kijutó fény (elektromágneses sugárzás) intenzitásának eloszlása a frekvencia függvényében.

Van egy izzó, többé-kevésbé egyensúlyban levő gázréteg a csillag legkülső részén, amelyet látunk: ez a csillag légköre. Definíálhatnánk úgy is, hogy ebből a rétegből jön a csillag elektromágneses sugárzásának túlnyomó része. A csillag légköre a *különböző frekvenciákon különbözőképpen átlátszatlan*, ezért (ahogy a vizsgált frekvenciát változtatjuk) a „túlnyomó rész” különböző vastag rétegekből gyűlik össze. Ha pl. egy frekvencián nagyon átlátszatlan a csillag légköre, úgy itt már egészen vékony réteg is produkálhatja a kilépő fény nagy részét.

A színeképből tudunk meg szinte mindent a csillag fizikai jellemzőiről, ezért a spektrum rögzítése központi kérdés az asztrofizikában. Egy csillag színeképét (elvileg) rögzíteni lehet akár végtelen nagy feloldással is; az ár azonban a végtelenül hosszú észlelési idő lesz. A másik elvi lehetőség a feloldás nulla szintje — amikor minden információt elveszítünk, de végtelen sok csillagot észlelhetünk. A *spektroszkópia* és a *fotometria* célja ennek az ellentétnek a feloldása: nyilván ésszerű kompromisszumot kell keresnünk a rendelkezésünkre álló észlelési idő és a gyűjtött információk mennyisége között. A spektroszkópia inkább az első lehetőség felé igyekszik, míg a fotometria a második felé halad.

Mit és hogyan tudhatunk meg a színeképből? Választ akkor adhatunk erre a kérdésre, ha *modelleket* alkotunk a csillag légköréről, arról a részről, ahonnan a színekép származik. A modelleknek *paraméterei* vannak, s az ezek változtatásával járó hatást akarjuk nyomon követni a *számított* színeképben. Milyen a hőmérséklet és a sűrűség rétegződése, a kémiai összetétel, a nehézségi gyorsulás, a mozgások és a mágneses tér eloszlása a csillag légkörében — kérdezhetjük.

Fölteszünk valamit ezekről a jellemzőkről, és ennek alapján kiszámítjuk a várható színeképet — ez egy modell. Ha gyors számítógépünk van, sok modellt tudunk végigszámolni: mintegy parametrizálhatjuk a modelljeink színeképet. A következő lépés: valami módon megkeressük azt a modellt, amelyikhez a legjobban hasonlít az általunk megfigyelt színekép, s így ezen modell paramétereit fogadjuk el reális értéknek a csillag légkörében fennálló fizikai állapotra. Ebben az eljárásban eszközünk a spektroszkópia vagy a fotometria: a spektroszkópiában a *megfigyelt* és a *számított* színeképet hasonlítjuk össze, egészen a finom részletekig, a fotometriában pedig a megfigyelt és a számított színeképet néhány tartományra integráljuk, s ezeket a tartományokat hasonlítjuk össze (színindexek).

A továbbiakban a *fotometriára* irányítjuk figyelmünket. Ugyanis sokkal több csillagot érhetünk el fotometriai úton, tehát így sokkal több csillagról határozhatunk meg egy-két fizikai jellemzőt — effektív hőmérsékletet, felszíni nehézségi gyorsulást —, mint spektroszkópiai úton. Másrészt a csillag légkörének pontosabb modellezéséhez (azaz a csillag színeképének pontosabb kiszámításához) fontos kiindulópont lehet a fotometriából származó T_e és g érték, ami egyben a *számított* (az angol szakirodalomban divatos kifejezéssel elve „szintetikus”) *színeképek*, *csillaglégkör-modellek fontos paramétere*. Változócsillagoknál pedig egészen érdekes kérdés lehet az, hogy miként változik T_e és g a fázis függvényében. Azt azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy *a színekép az elsődleges*: amikor beérjük a fotometriával, modelljeink T_e és g értékét általában akkor is a vonalas színekép vizsgálatából származtattuk le! A vonalas színekép tanulmányozásával tehát mintegy kalibráljuk a T_e — színindex és g — színindex relációinkat, hogy azután ezeket a paraméterként használt mennyiségeket közelítőleg meghatározhassuk azokra a csillagokra is, amelyeknek már csak a színindexeit tudjuk megmérni.

A fotometrlás sávjainak megválasztása

Hogyan választhatjuk meg optimálisan azt a néhány tartományt, amelyekre a színeképet integráljuk?

Legyen a *csillagról induló fény fluxusa* F_λ , aminek $\text{Js}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{nm}^{-1}$ a dimenziója. (1 cm^2 felületen, 1 másodperc alatt, egységnyi hullámhossztartományban áthaladó elektromágneses energia mennyisége.) Kezdetben ez az energia valahogy eloszlik a különböző hullámhosszak közt. A csillagközi térben már torzulhat ez az eloszlás, amit a megfigyelésekből jól ismert *csillagközi vörösödés* mutat. Torzulhat aztán az eloszlás a földi légkörön való keresztülhaladás miatt is. Végül az észlelőberendezésünk — szemünk, távcsövünk, fotométerünk — ebből a fluxusból nyilván a

felületének és az észlelési időnek megfelelő mennyiséget gyűjti össze, de — ami a fotometria szempontjából lényeges — csak egy bizonyos, λ_1 és λ_2 hullámhosszak közé eső fénymennyiséget, s azt sem egyenletes hullámhossz szerinti eloszlásban, hanem *bizonyos hullámhosszakon jobb, másutt pedig kevésbé jó hatásfokkal!* Ezt a *szűrőfüggvénnyel* jellemezzük, de nevezhetnénk *transzmissziós függvénynek* is. Jele S_λ , dimenziója szám (skalár). Ezek után már matematikailag is kifejezhetjük az észlelőberendezésünkben megjelenő intenzitást:

$$I_{12} = \text{konstans} \cdot \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} S_\lambda D_\lambda F_\lambda d\lambda, \quad (1)$$

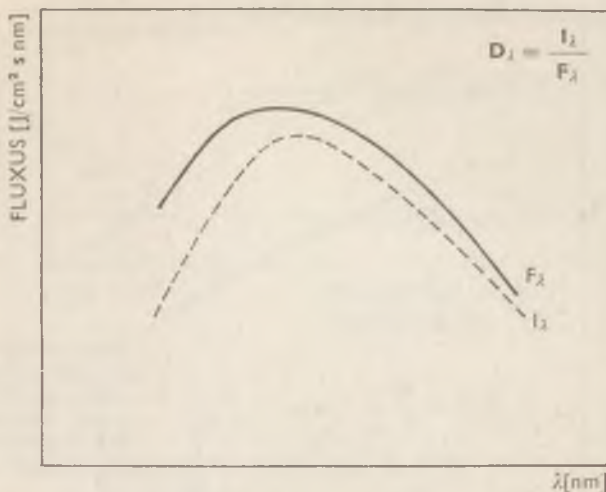
ahol D_λ a csillag és a távcső közötti térrész „transzmissziós függvénye”, tehát ugyanolyan függvény, mint S_λ . A konstans faktor távcsövünk nagyságától és a csillag távolságától függ. I_{12} J/s jellegű mennyiség, s belőle a csillagászatban jól ismert receptek szerint a magnitúdó már közvetlenül képezhető.

F_λ és D_λ eleve adott. S_λ -t tehát úgy szeretnénk megválasztani, hogy a jó választás által a lehető legtöbbet tudjuk meg F_λ -ról (esetleg D_λ -ról) a lehető legkevesebb méréssel.

A csillagfény spektrális összetételének módosulása a csillag és a távcső tükre között (D_λ)

Talán D_λ -ról a legbizonytalanabb a tudásunk. A csillagközi vörösödés a Tejútrendszerben erősen függ attól az iránytól, amerre nézünk, és emellett a hullámhossztól való függése is csak nagy általánosságban határozható meg. Szerencsére magas galaktikai szélességeken elhanyagolhatóan kicsiny lehet. Furcsa módon azonban D_λ másik komponenséről, a földi légkör hullámhossz szerinti átlátszóságáról majdnem annyira tisztázatlan a tudásunk, mint a csillagközi tér átlátszóságáról. Az utóbbi években történt ugyan némi haladás ezen a területen, de mind a mai napig távol vagyunk a végleges megoldástól.

A problémát egyszer s mindenkorra meg lehetne oldani mesterséges égitestek közbeiktatásával. Föl kellene bocsátani a légkör fölé egy olyan „standard lámpát”, amelyik jól ismert eloszlás szerint sugározná ki a fényt — azaz I_{12} képletében pontosan ismernénk F_λ -t. (Most persze F_λ nem csillagból származnék, hanem egy lámpából vagy egyéb fényforrásból.) A Föld felszínén egyszerűen csak megmérnénk a lámpa fényének intenzitáseloszlását (I_λ), s meg is volna a keresett D_λ függvény a földi légkörre (1. ábra).

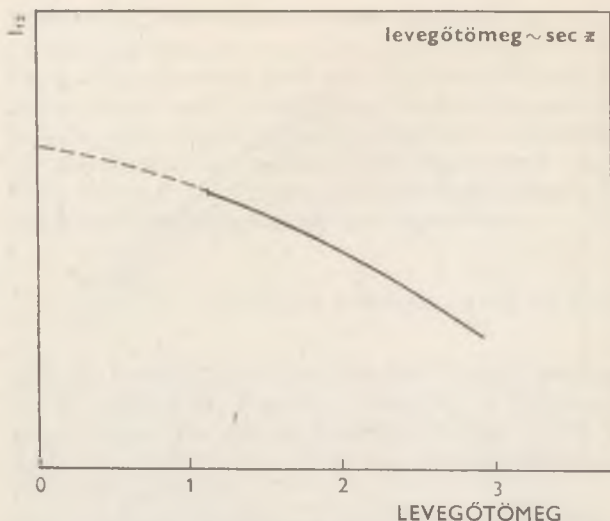


1. ábra. Az eredetileg F_λ intenzitáseloszlású (folytonos görbe) fényforrás fényét a földi légkör megváltoztatja: I_λ (szaggatott görbe). A légkör hullámhossz szerinti szűrőfüggvényét (D_λ) a két eloszlás hányadosaként kapjuk

Ilyen kísérletre az űrkutatás mostani, harmadik évtizedében sem vállalkozott még senki, minden jel szerint azért, mert nem sikerült még olyan standard fényforrást szerkesztteni, amelyik kibírná a kilővéssel járó megrázkódtatásokat, és emellett ráadásul stabilan is működne fent a magasban huzamosabb ideig.

Volna egy másik lehetőség is. Stabil standard fényforrás annyi van az égen, ahány csillag. Ki kellene választani néhány fényes csillagot, és egy mesterséges holdról igen nagy feloldással meg kellene mérni a csillagfény intenzitásának eloszlását, s ugyanezt megismételni a Föld felszínén. A csillag különböző zenittávolságainál végezve a mérést még a földi légkör átlátszóságának zenittávolságtól való függését is megkaphatnánk. Egyelőre még ilyen kísérletre sem történt próbálkozás, jól lehet itt a fő kérdés a légkörön kívüli mérés, mert például a Vega színképében igen jól ismerjük a Föld felszínén mérhető intenzitáseloszlást. A jelenleg üzemelő műholdak — pl. az IUE=International Ultraviolet Explorer — detektorai éppen csak egy kicsit fedik át a Föld felszínéről még éppen elérhető ultraibolya tartományt (körülbelül 330 nm táján). Hasonló problémákra persze ennél a mérésnél is számíthatunk majd, mint az előző bekezdésben említett lámpakalibrációnál.

A földi légkör átlátszóságát ma főleg a Hale Observatóriumokban kifejlesztett módszer alapján mérik, a következőképpen: kedvező éj-



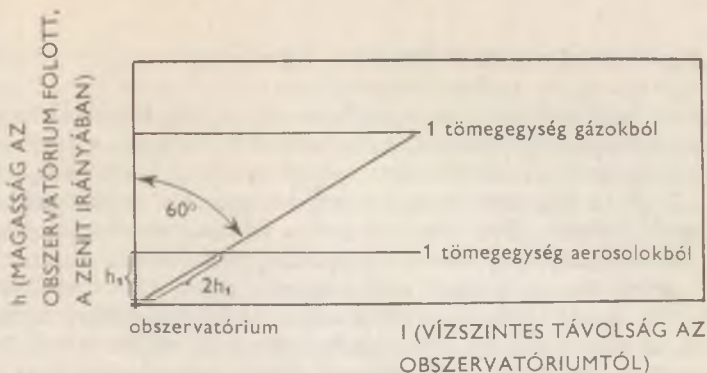
2. ábra. I_z , a csillag intenzitása egy keskeny hullámhossztartományban, z a zenittávolság szöge, $\sec z = 1$ a zenitben ($z = 0^\circ$), $\sec z = \infty$ a horizonton ($z = 90^\circ$). A levegőtömeg kis zenittávolságnál $\sec z$ -vel arányos

szakákon néhány, körülbelül 5 nm széles sávban megméri a csillag fényének csökkenését a növekvő zenittávolság függvényében. A 2. ábrán szereplő $\sec z$ 60°-os zenittávolságig ($\sec z = 2$) csak a negyedik számjegyben tér el attól a levegőtömegtől, amelyen keresztülhalad a fény. Ha tehát a zenitben egységnyiinek vesszük azt a levegőtömeget, amelyen keresztülhalad a csillag fénye, akkor 60°-os zenittávolságban éppen kétszer annyi levegőn keresztül érkezik a tácsövünkbe a fény. Innen egy lépés extrapolálni a 2. ábra folytonos görbáját 0 levegőtömegekre (szaggatott vonal), s ez éppen a csillagnak a földi légkör által már torzítatlan intenzitása az adott hullámhossztartományban: ezt már csak a csillagközi vörösödés torzította.

E módszer ellen a kritikusok főleg azt szokták felhozni, hogy más a légkörben a *horizontális és a vertikális extinkció*, és ezért a 2. ábra csak első közelítésnek tekinthető, ugyanis csupán homogén légkörre igaz. A különböző horizontális és vertikális extinkció oka az, hogy vízszintes irányban a fénylenyelő anyagok sűrűsége nagyjából egyenletes, míg függőleges irányban természetesen csökken, a barometrikus formula szerint:

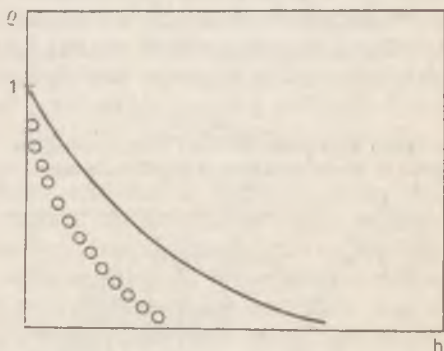
$$\rho \sim \rho_0 e^{-h/H_0},$$

ahol H_0 a skálamagasság, ρ pedig az adott komponens sűrűsége.



3/a. ábra. Az aerosolok és a gázok együttesen csak akkor jelentenének két levegőtömeget 60° -os zenittávolságban, ha a sűrűség egyenletes volna a h magasság függvényében. Ez azonban nyilván nem teljesül

3/b. ábra. A sűrűség csökkenése a magassággal a barometrikus formula szerint exponenciális (ρ_0 -t egységnyi-nek vettük), de más-más a légkör különböző összetevőire az exponens. (Folytonos vonal: gázok, körök: aerosolok)



A légkör fényelnyelő anyagai több komponensből tevődnek össze, és ezek átlagos molekulásúlya más és más. A barometrikus formulában H_0 -on keresztül szerepel az anyag molekulásúlya is, ami szemléletesen szólva azt jelenti, hogy a nehezebb molekulájú abszorbeáló anyagok és a makroszkopikus részecskék — például aerosolok — a légkör aljára rendeződnek, míg az egyéb anyagok koncentrációja nagyobb magasságokban is csak lassan csökken. Mindezek fényelnyelő hatása eltérő, ezért egyszerű — egykomponensű — összegzéssel a valóság csak durván közelíthető (3. ábra). Ezt a Palomar-hegyen elvégzett mérések is igazolták. A távcsőtől pár száz méterre elhelyezett fényforrással mérve a horizontális és a vertikális extinkció mérhetően különböző volt.

A csillagközi vörösdés által okozott problémát D_λ -ban tehát elkerülhetjük azzal, hogy magas galaktikus szélességekről fokozatosan haladunk az alacsony galaktikus szélességek felé, ahol nagygyá válik a vörösdés, a földi légkör által okozott problémát viszont igazából csak a légkör fölött végzett méréssel oldhatnánk meg.

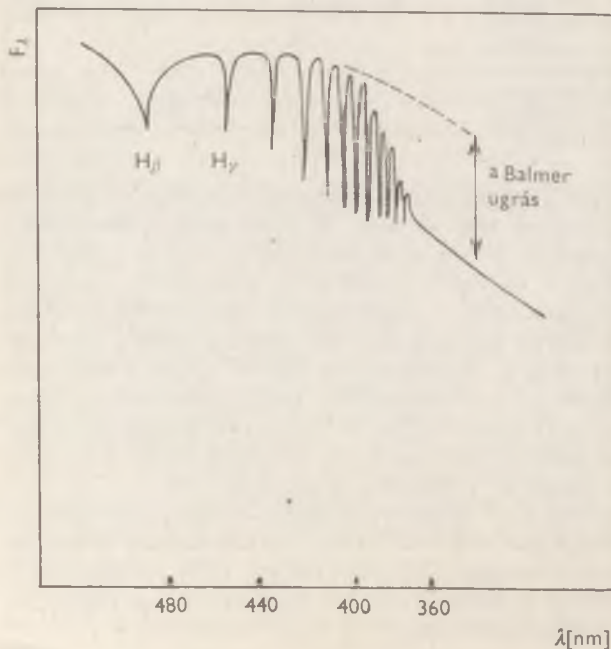
A csillagfény spektrális összetétele (F_λ)

A csillagfény spektrális összetételét szeretnénk tulajdonképpen a fotometrással meghatározni. Azért ejtünk itt róla pár szót, hogy jól megtervezhessük a szükséges fotometriai sávok λ_1 , λ_2 -jét és S_λ -ját.

Nyilván a spektroszkópiára kell hagynunk a vonalas színekép részletes felderítését. Fotometriával csak a folytonos színekép alakját foghatjuk meg, a vonalak itt zavaró tényezőként szerepelnek.

A folytonos színeképet csak nagyon durván lehet közelíteni a fekete testek intenzitáseloszlásával, mert ez (a Planck-görbe) akkor jön létre, ha a sugárzási tér *egyensúlyban* van a környezetével (például a felhevített üreg falával). A csillagok légkörének az alján ez teljesül is, de a tetején nyilván nem: a csillagból a sugárzás a légkörön keresztül távozik el. A fekete test sugárzásának intenzitáseloszlása anyagi minőségtől független, csak a hőmérséklettől függ. Vonalakról szó sincs. A csillagok színeképe viszont *vonalas*. Így hát közelíthetjük ugyan Planck-görbével a csillag folytonos színeképét (legalábbis bizonyos hullámhossz-

4. ábra. Egy korai csillag (Vega) színeképe. Ilyen kis feloldás mellett a színeképet uraló Balmer-vonalakon kívül más vonal nem látszik



tartományokban, főleg az ugrásoktól — például Balmer-, Paschen-ugrás* — távol), s így lehet beszélni színhőmérsékletről is, de ennek fizikai jelentése nincs. Hasonlóképpen nincs fizikai jelentése az effektív hőmérsékletnek (T_e), ami annak a fekete testnek a hőmérséklete, amelyik ugyanannyi energiát sugároz másodpercenként és felületegységenként mint a csillag. Modelljeinknél viszont T_e fontos paraméter, míg az elmúlt húsz évben a színhőmérséklet szinte kipusztult szóhasználatunkból, mivel a modern numerikus módszerek és a gyors számítógépek sokkal pontosabb leírást adnak egy csillag folytonos színképéről, mint a hullámhosszról hullámhosszra változó színhőmérséklet.

Fotometriáinkkal akkor foghatjuk meg jól a folytonos színképet, ha választott sávjaink (a $[\lambda_1, \lambda_2]$ intervallumok) *elkerülik az erős vonalakat*. Korai színképtípusoknál ez lehetséges is: a fotometriával mért I_{12} értékeket csak 1—2 százaléknnyira befolyásolják a vonalak a közepes és keskeny sáv szélességű fotometriákban. A szélessávú fotometriákban — amelyekben λ_1 és λ_2 különbsége közel 100 nm, nem lehet elkerülni a vonalakat, még a korai színképtípusoknál sem (4. ábra). Kései színképtípusoknál a vonalak tömkelegével találkozunk, ezért e csillagok fotometrlásából a folytonos színképre csak közbülső lépések után következtethetünk.

A csillagfény spektrális összetételét számítani is tudjuk a csillag légkörének modellezése által. A modellek fő paraméterei az effektív hőmérséklet, a nehézségi gyorsulás és a kémiai összetétel a csillag légkörében. Ha fotometrlunk egy csillagot, ezeknek a paramétereknek a meghatározását vehetjük célba; T_e -t és g -t viszonylag pontosan meghatározhatjuk ezzel a módszerrel, a kémiai összetételt pedig esetenként becsülhetjük. Az effektív hőmérséklettől a folytonos színkép *alakja* (meredeksége) függ erősen, g -tól pedig a *Balmer-ugrás nagysága* rögzített effektív hőmérsékletnél. Mivel a nehezebb elemek (fémek) vonalai egy csillag légkörének a hőmérsékletén főleg az ultraibolyába esnek, ezért a Balmer-ugrás nagyságának mérésekor hibát okozhatnak. (Sok fém: sok vonal az ultraibolyában, tehát kevesebb fény érkezik ebből a tartományból a fémhiányos csillagokhoz képest, mert a vonalak abszorpciósak. A Balmer-ugrás tehát fotometriailag nagyobbnak tűnik, ami kisebb g -t jelent. Kevés fém: ultraibolya-többlet — excesszus —, ami látszólag nagyobb g -t jelent. Az ilyen buktatókra vigyázni kell, főleg a szélessávú fotometriával kapott mérések kiértékelésekor!)

* A Balmer-ugrás $\lambda \approx 365$ nm-nél van, ennél rövidebb hullámhosszak akkora energiájú fotonoknak felelnek meg, amelyek már ionizálhatják a hidrogénatomot, ha az az $n = 2$ kvantumszámú állapotban van. A Paschen-ugrásnál $n = 3, \lambda \approx 820$ nm.

Fotometriai rendszerek (S_λ)

Legősimbb eszközüink a fotometrálásra a pusztá szem. λ_1 , λ_2 és S_λ közelítőleg ismert rá, s magnitúdóskálánk valójában egy emberi szemre alapozott fotometriai rendszer származéka.

Az idők során vizuális, fotografikus és fotoelektromos fotometriai rendszereket hoztak létre. *Vizuális fotometriát* manapság már inkább csak amatőrök használnak. Becsléssel két vagy több adott fényességű csillag közé szokás ilyenkor interpolálni a mért csillag fényességét, vagy pedig valami eszköz (szűrke ék, lépcsős szűrő, gyengített standard fényforrás) közbeiktatásával határozzuk meg a mérendő csillag fényességét. *Fotografikus úton* viszonylag sok csillag fényességét rögzíthetjük, és újra kiértékelhető, később is felhasználható dokumentum marad a mérésről, de a mérési hiba tíz százalék alá nemigen szorítható le. *Fotoelektromos úton* egyelőre egy távcső egyszerre csak egy csillagot mérhet, de a pontosság általában 1 százalék körül van, vagy akár ezrelékes nagyságrendű is lehet. (Fotografikus úton halványabb csillagokat is elérhetünk mint fotoelektromosan. A távcső optikájával szemben azonban a fotografikus fotometrálás nagyobb követelményeket támaszt.) A fotólemez és a fotoelektromos fotometrálás előnyeinek összeházasítására több kísérlet történt, a legtöbbet a legfejlettebb országokban jelenleg kidolgozás alatt álló „*képfotonszámláló rendszertől*” (image photon counting system) várhatjuk, amelyben a távcső fókuszsíkjaiba elhelyezett félvezető elem a képet elektronikus úton egy számítógép memóriájába küldi rögzítés és feldolgozás céljaira. (A képet 0,02—0,03 mm nagyságú részekre bontja az elem, s lehetővé teszi a digitális kiolvasást. A zajok kiszűrésére a számítógépek aztán szinte korlátlan lehetőséget kínálnak. Kiterjedt források — például galaxisok — képeinek vizsgálatában már eddig is jelentős eredmények születtek ezzel a technikával.)

Előljáróban még annyit, hogy a λ_1 — λ_2 különbség abszolút értéke szerint szoktunk beszélni széles-, közepes, és keskenysávú fotometriai rendszerről; ezekre a fenti különbség rendre ~ 100 , 20 és ≤ 10 nm.

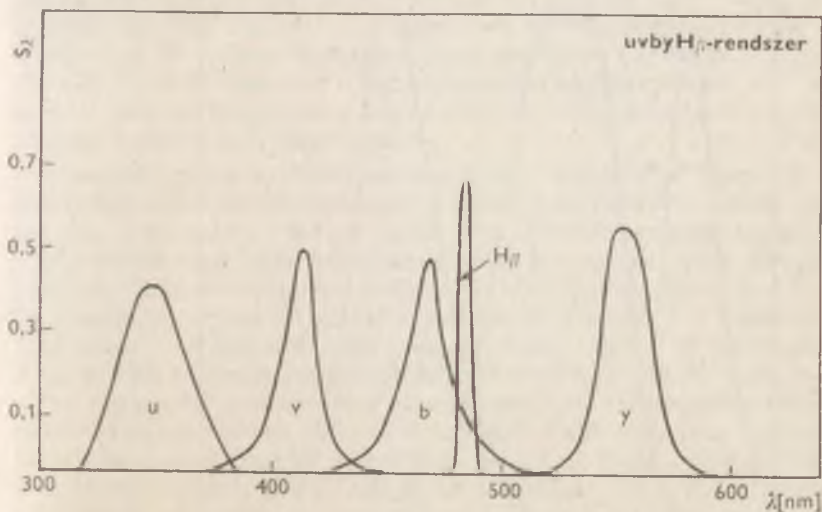
A fotometriai rendszerek történetét talán nem érdemes Hipparkhosz-ig visszapergetni, sőt ma már a Bonner Durchmusterung vizuális fényességei is csak történelmi jelentőségűek. A Henry Draper katalógus (1911 és 1925 között készült) már fotovizuális és fotografikus fényességeket tartalmaz. Ekkoriban ugyanis voltak olyan fotólemezek is, amelyeknek a hullámhossz szerinti érzékenysége körülbelül az emberi szem érzékenységeivel egyezett meg (fotovizuális fényesség), és volt olyan lemez is, amelyik a kék, ibolya fényre volt inkább érzékeny (fotografikus fényesség.) Ily módon keletkezett a fenti két fényesség, különbségüket

képezve pedig már *színindexről* is lehetett szó, s ez volt egyben az első lépés a szín – fényesség diagramok megszerkesztéséhez.

Ahány fajta lemez, ahány obszervatórium (különböző lemezekkel és szűrőkombinációkkal), annyi fotometriai rendszer — ez volt a helyzet talán egészen az ötvenes évekig. Jelentek ugyan meg időnként javaslatok a szakirodalomban a fotometriai rendszerek egységesítésére, de például az „északi poláris sorozat” („nemzetközi fotografikus rendszer”) alkalmatlannak bizonyult a későbbi alapos mérések tükrében*. Sajnos nem tudott általánosan elterjedni egy olyan fotometriai rendszer, mint W. Becker (1938) szélessávú *RGU*, vagy B. Strömgren (1950) közepes sáv szélességű *uvbyH_β* rendszere. Ezen rendszerek megkonstruálásakor a szerzők ugyanis az asztrofizikai információk maximális kinyerését tartották szem előtt.

Az *RGU* rendszert kifejezetten fotografikus munkára tervezték (mert akkoriban még nem voltak jó fotokatódok), s talán az egyetlen hátránya az volt, hogy az *R* és a *G* (vörös és zöld) sávok szélessége valamelyest keskenyebb volt, mint a ma használatos *B* és *V* sávoké, s ez némi veszteséget jelentett a határmagnitúdóban. Ezt azonban bőven kárpótolhatta volna a sávok szerencsésebb elhelyezése.

5. ábra. Az *uvbyH_β*-rendszer szűrőfüggvényei

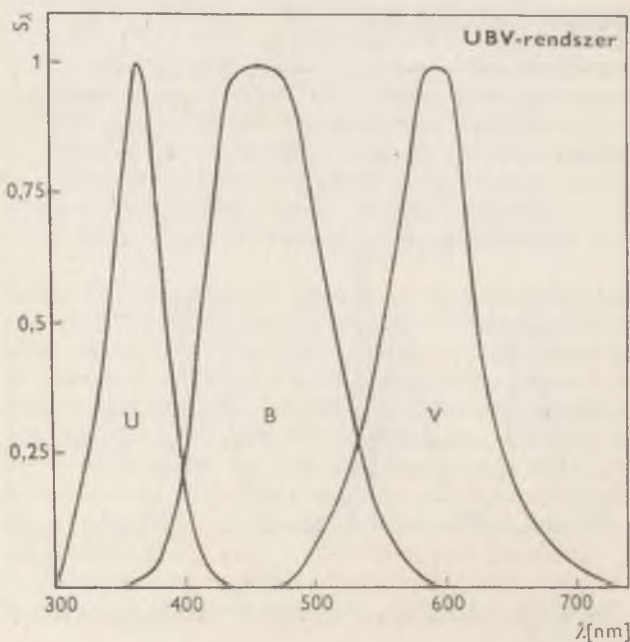


* Ennek a rendszernek a fotovizuális és a fotografikus fényességeket kellett volna egységesítenie.

A Strömngren-rendszer manapság terjedőben van. (A bevezetése után körülbelül 20 évig nemigen használták). Előnye a közepes (20 nm) szélességű sávok ésszerű elhelyezése, s a pontosan definiált S_λ . Továbbá az öt jól megválasztott sáv (5. ábra) több olyan színindex képezését teszi lehetővé, amelyek jól kapcsolatba hozhatók a modellek paramétereivel. Például ebben a rendszerben még a csillag légkörének kémiai összetételét is elég jól lehet becsülni az úgynevezett fémességi indexszel.'

Az ötvenes években viharos gyorsasággal terjedt el a ma is széles körben használt szélessávú *UBV*-rendszer (6. ábra), amelyet idővel *R* és *I* sávokkal egészítettek ki az infravörösben. Körülbelül 100 nm széles sávjaival nagy határmagnitúdó elérését teszi lehetővé, fotoelektromosan és fotografikusan egyaránt viszonylag könnyen reprodukálható, azonban a *B*-be belelóg, az *U*-ban pedig teljesen benne van a Balmer-ugrás, s ez nagyon megkeseríti azok munkáját, akik a rendszert kalibrálni szeretnék, azaz szeretnék megtalálni a színindexekhez tartozó T_e , g értékeket. A Balmer-ugrásban ugyanis az intenzitás lefutása a frekvencia függvényében a legkeservesebben számítható mennyiségek közé tartozik.

6. ábra. Az *UBV*-rendszer szűrőfüggvényei



Külön problémát jelent a pontatlanul definiált S_λ szűrőfüggvény. Az eredetileg publikált S_λ -t ugyanis a hatvanas évek elején revideálni kellett, s igazából asztrofizikailag az nagyon kétes értékű definíció, hogy az RCA 1P21-es fotokatód, két reflexió a távcső (alumíniumozott) tükrerein és a Schott gyár ilyen és ilyen jelű, adott vastagságú szűrői adják meg a rendszert. A rendszer alkotói, H. L. Johnson és W. W. Morgan, ezt a problémát úgy akarták kikerülni, hogy definiáltak az égen egy standard hálózatot, s így minden egyes obszervatóriumban ehhez a hálózathoz kell igazítani a helyi fotométert a színek és a színindexek lineáris transzformációival, s ily módon nem olyan nagy baj, ha a helyi fotokatód, szűrőkombináció, tükrök csak körülbelül azonos az etalonnal, amelyet a McDonald obszervatóriumban definiáltak. Ezáltal a rendszer homogénné vált, de ez semmiféle előnyt nem jelentett azoknak, akik azon fáradoztak, hogy fizikai paramétereket rendeljenek az *UBV*-rendszer színindexeihez. Ehhez a munkához ugyanis *pontosan definiált szűrőfüggvényekre* lett volna szükség.

Figyelemre méltó megjegyzés Johnson egyik munkájában, hogy a „7000 láb tengerszint feletti magasság is szükséges” abban az obszervatóriumban, ahol jól meg akarjuk valósítani az *UBV*-rendszert. Ebből ugyanis gyanítani lehet, hogy egyik vagy másik sávban a λ_1 -t, vagy a λ_2 -t nem a szűrő, a fotokatód és az alumínium reflexiók képessége definiálja, hanem a légkör. A Žusienis és V. Straižys vilniusi csillagászok 1969-ben publikált mérései mutatták ki először, hogy tényleg ez a helyzet. Az *UBV*-rendszer S függvényeit akarták pontosan meghatározni, és az U sávban legnagyobb meglepetésükre a télen és a nyáron mért S_λ más volt. Ezt csak a légkör évszaktól függően változó átlátszóságával lehetett magyarázni. Ma általánosan elfogadják az ő mérései alapján módosított S_λ függvényeket.

A szűrőfüggvények ellenőrzésére van egy csillagászati lehetőség is: sok csillag folytonos sugárzásának hullámhossz szerinti eloszlását mérték meg, többnyire a Vegához viszonyítva. Általában ~ 5 nm sáv szélességgel mérték úgy, hogy gondosan elkerülték a színek erős vonalait, például a Balmer-vonalakat. A 330–700 nm közti tartományban 15–20 ilyen sávot vettek föl, s ezzel a szerzők állítása szerint a kontinuum intenzitása 1–2 százalékos pontossággal mérhető. Sajnos persze ezekből a mérésekből a Balmer-ugrás kimaradt, mert abban nehéz pontosan mérni — ugyanattól a szerzőtől F_λ -ra egymástól 30–40 százalékpontnyi eltérő adatok származnak 380–390 nm körül. Ezért manapság a szerzők inkább nem kockáztatják hírnevüket az ilyen kétes eredményekkel kecsegtető méréssel, inkább kihagyják a kérdéses sávot. Az U színben a fényesség számítását ez meglehetősen bizonytalanná teszi. Mindazonáltal ezekből a keskenysávú fotometriákból kiszámítható egy csillag

$U-B$, és $B-V$ színindexe, és ezt össze lehet vetni a mért színindexekkel. Egyezés esetén 45° -os egyenest kapunk egy olyan ábrán, amelynek vízszintes tengelyén a mért, függőleges tengelyén pedig a számított színindexet ábrázoljuk.

A fotometriai rendszerek kalibrálása

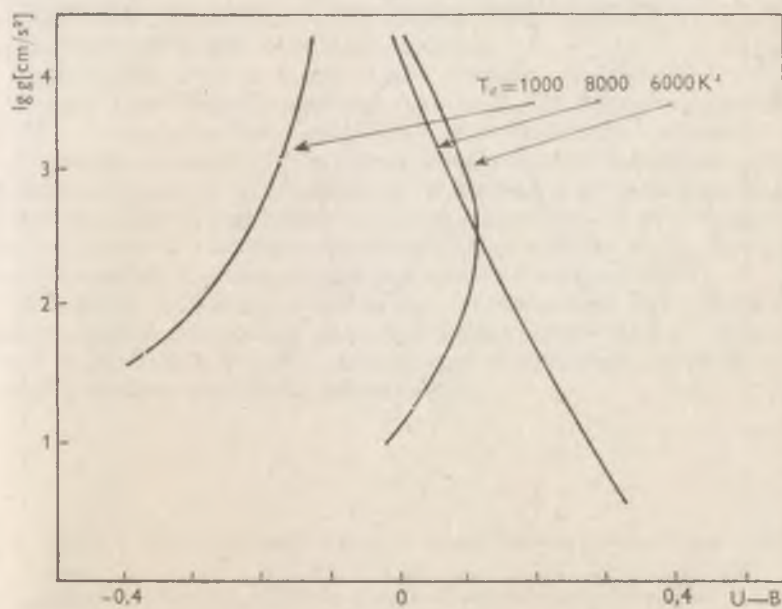
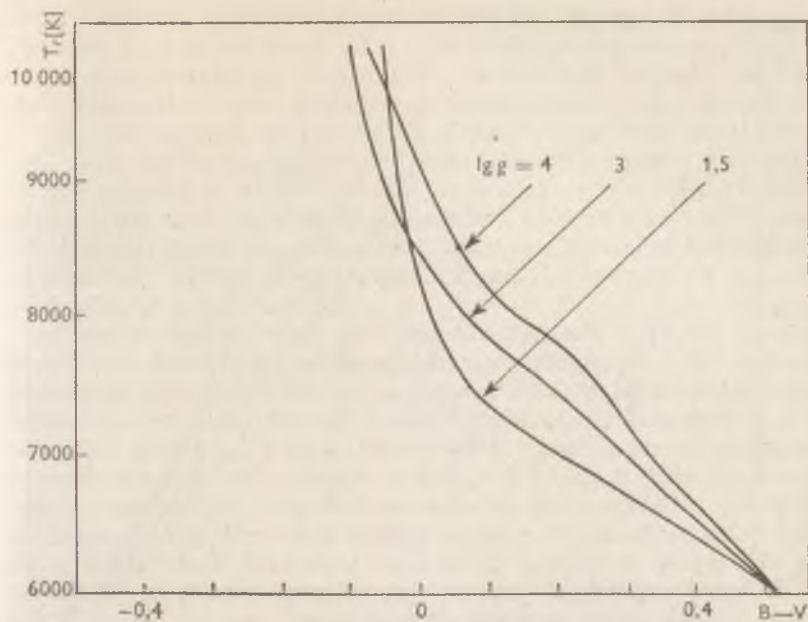
A fotometriai rendszerek megalkotásával — azaz az S_λ -k definiálásával — célunk az volt, hogy F_λ közbeiktatásával csillaglégkör-modelljeink paramétereit egy csillaghoz rendelhessük, s ezáltal következtessünk a vizsgált csillag effektív hőmérsékletére, a felszíni nehézségi gyorsulására, amiből meghatározható például a csillag sugara és a tömege is, ha ismerjük a csillag távolságát. Változócsillagoknál pedig T_e és g fázis függvényében történő változásából a csillag sugarának változása kapható meg, s ebből némi ügyeskedéssel a tömeg is becsülhető. Mindehhez S_λ és D_λ ismeretén kívül sok csillaglégkör-modellre van szükségünk.

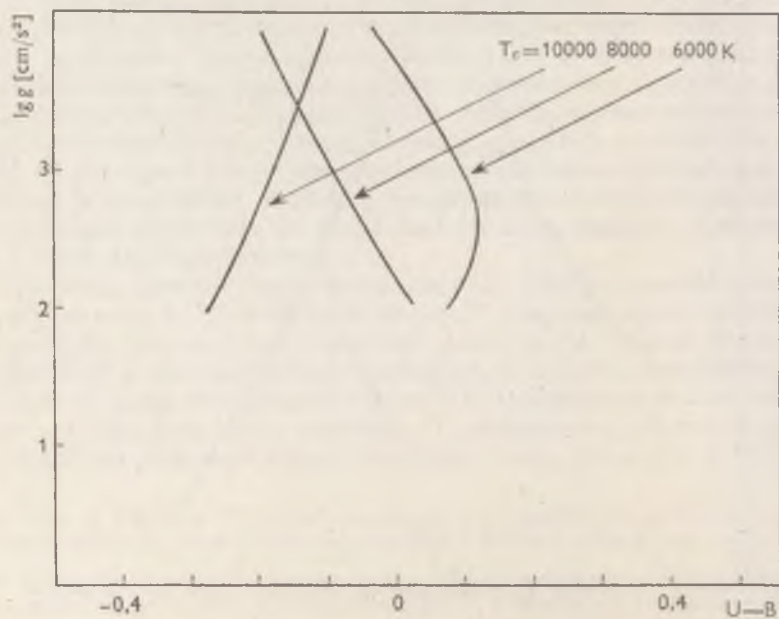
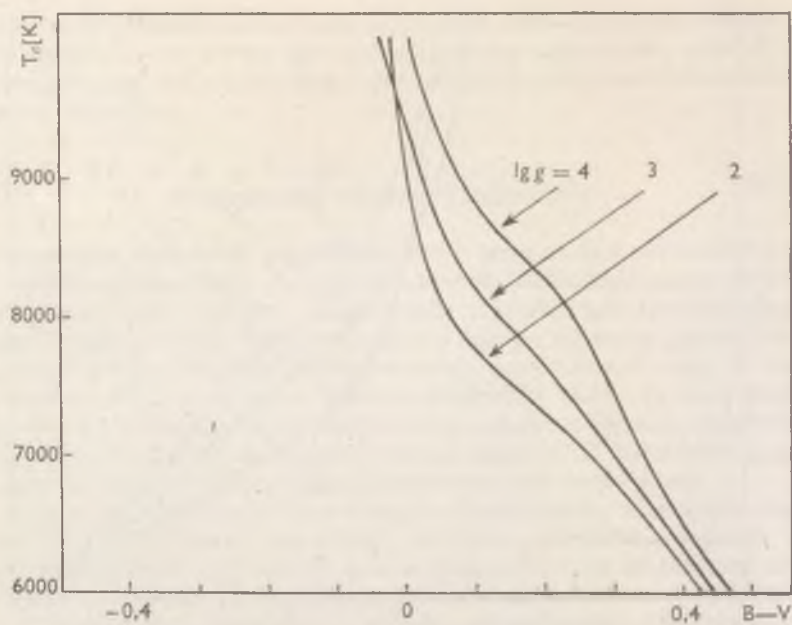
Amíg nem voltak nagy teljesítményű számítógépek, a csillagok légkörének modellezésében mindenféle fortélyos matematikai fogással is igen sokáig tartott egy modell kiszámítása, s nemigen lehetett szó arról, hogy a modellek számított F_λ -jával kiszámítsák a modell színeit, azaz a megfelelő I_{12} -értékekből képezzék a színindexeket. Ez a program csak a hetvenes évek közepére érett kivitelezhetővé. Nagy lépést jelentett a Smithsonian Asztrofizikai Intézetben az R. L. Kurucz által kidolgozott ATLAS nevű program, amely hidrosztatikus egyensúlyt és lokális termodinamikai egyensúlyt (LTE) feltételezve, realisztikus opacitásokat használva numerikusan integrálta a sugárzás áramlási egyenletét. Ez a program, illetve némileg javított változatai ontották a modelleket: a hőmérséklet és sűrűség rétegződését a különböző paraméterű csillagok légkörében, s a kilépő sugárzás intenzitásának az eloszlását a frekvencia függvényében.

A modellek analízise megmutatta, hogy ha UBV -fotometriánk van, a csillagok mért $B-V$ színindexét tényleg T_e meghatározására érdemes használnunk, míg az $U-B$ színindexet g -ére. Az (1) integrált képezve a különböző fotometriai sávokra megkaphatjuk a modell számított színindexeit (7. ábra). Mint látható, már az UBV -rendszerben is kissé más-hogy húzódnak a vonalak a színindex — T_e , színindex — g síkokon a csillag légkörének különböző kémiai összetétele esetén (7/a,c; 7/b, d ábra).

7/a. ábra. A $(B-V)-T_e$ összefüggés az ATLAS-modellekre szoláris kémiai összetétel esetén. A különböző görbék különböző g értékek felelnek meg — felül

7/b. ábra. Az $(U-B)-g$ összefüggés az ATLAS-modellekre szoláris kémiai összetétel esetén. A különböző görbék különböző T_e értékeknek felelnek meg — alul





A T_e — $(B-V)$, g — $(U-B)$ síkokon esetleg egy-egy színindexpárhoz több T_e , g is tartozhat, tehát a fenti függvények nem egyértékűek, amint az az ábrákról jól látható. Kétes esetben ilyenkor vagy újabb mérésre van szükség más hullámhossztartományban, vagy a spektrum alapján dönthető el, hogy melyik a helyes T_e és g . Általában kettőnél több érték között sosem kell választani. (Például a Sirius B fehér törpe- U, B, V színeit a ~ 9000 és $\sim 30\,000$ fokos effektív hőmérsékletű modell egyaránt jól adta. Légkörön kívüli méréssel sikerült a nagyobb T_e mellett dönteni: ennek a modellnek az ultraibolya fluxusa sokkal nagyobb, de mert a földi légkör elnyeli ezeket a sugarakat, ezért nem volt eldöntendő a kérdés a légkör aljáról.)

A nem változó csillagok általában elhelyezhetők a $7/a-d$ ábrákon, illetve más fotometriai rendszerekben azok megfelelőin. Ily módon a fotometria segítségével értéket kaphatunk effektív hőmérsékletükre és felszíni nehézségi gyorsulásukra. Spektroszkópiai analízis esetén a fotometriából kapott T_e , g érték fontos kiindulópont, s mivel általában a végeredmény nem esik messzire ezektől, ebből láthatjuk, hogy az eddig vázolt meglehetősen hosszadalmas számítások a valóságot jól fedik. A fotometriai rendszerünket minden nehézség ellenére sikerült két olyan mennyiséghez kalibrálni, amelyek a csillag légkörének fizikai állapotával közvetlen összeköttetésben vannak. Ha csillagunk színei nem illelnek a $7/a-d$ ábrákra, illetve azok megfelelőire, akkor viszonylag igen olcsón, három fotometriai mérés alapján utalást kaptunk arra, hogy a csillag további beható vizsgálatra érdemes.

A fontosabb lépések a következők voltak: a csillaglégkör modellje (bizonyos feltevésekkel: sugárzási egyensúly, hidrosztatikus egyensúly, LTE) — a modell színe — mért színek. A fotometriával kiválasztott modell globális jellemzői (T_e , g , kémiai összetétel) és a modellben szereplő fizikai mennyiségek (a hőmérséklet, a sűrűség, a nyomás eloszlása) jól közelítik a csillag légkörében uralkodó állapotokat. A spektroszkópiai finomítás további felvilágosítással szolgálhat a csillag légkörében a kémiai összetételről, a mozgások és a mágneses tér milyenségéről.

A közepes és keskeny sávzélességű fotometriákkal egyre jobb értékeket kaphatunk csillaglégkör-modellünk paramétereire. Bizonyára ezért a jövőben a közepes sávzélességű fotometriák, elsősorban az $uvbyH_\beta$ rendszer terjedésére számíthatunk.

7/c. ábra. 7/a. ábra megfelelője a szoláris fémgyakoriság egytizedével — felül

7/d. ábra. 7/b. ábra megfelelője a szoláris fémgyakoriság egytizedével — alul

*Pulzáló változócsillagok effektív hőmérséklete
és effektív nehézségi gyorsulása*

A fejezet elején vázolt program elvégezhető a pulzáló változócsillagokra is. Kérdezhetjük: reprodukálhatók-e egy pulzáló csillag színei az ATLAS-modellekkel? Kérdésünk tulajdonképpen azt jelenti, hogy azok a fizikai feltételek uralkodnak-e egy pulzáló csillag légkörében, amelyeket feltételeztünk az ATLAS-modellek számításakor: sugárzási egyensúly, hidrosztatikus egyensúly, lokális termodinamikai egyensúly, és természetesen csak radiális pulzációról lehet szó. Akkor lesz igenlő a válasz, ha a fázis függvényében (az esetleges csillagközi vörösödést leszámítva) a távcső mellett mért $B-V$, $U-B$ színindexek ráilleszthetők a $7/a-b$, vagy $7/c-d$ ábrára. A színek részletes vizsgálata azonban még pozitív válasz esetén is tárhat fel váratlan jelenségeket, például mozgásokat a csillag légkörében, avagy változó mágneses teret.

Gondoljuk meg először, hogy mit várhatunk.

A sugárzási egyensúly beállításához az kell, hogy a csillag légkörének egy térfogateleme sugárzással gyorsan át tudja adni a tágabb környezetének a hőt, amelyet például valami hidrodinamikai vagy mágneses folyamat során fölvelt. Egy T hőmérsékletű térfogatelemben $c_V T$ hőenergia tárolódik (c_V az állandó térfogaton vett fajhő), s a Stefan—Boltzmann törvényt szerint térfogatelemünk másodpercenként $\kappa \sigma T^4$ energiát veszít a sugárzás miatt. (κ az abszorpciós koefficiens, σ a Stefan—Boltzman állandó.) Ha képezzük a fenti két mennyiség hányadosát:

$$\frac{c_V T}{\kappa \sigma T^4},$$

a kapott mennyiség idő dimenziójú lesz, s éppen arról ad nagyságrendi tájékoztatást, hogy az adott térfogatelem hány másodperc alatt kerül egyensúlyba környezetével.

Egy nem változó csillag légkörének térfogatelemei egyensúlyban vannak környezetükkel, egy változócsillagban azonban az esetleges ilyen egyensúlyt a változást okozó folyamat (például a pulzálás, vagy a behulló anyag egy szoros kettős csillag esetében) rendszeresen megzavarja. Minél rövidebb a változás karakterisztikus ideje, annál kérdésesebbé válik a sugárzási egyensúly.

Vegyük a vizsgált csillagunk légkörében a κ , T , c_V értékeket, helyettesítsük be az imént felírt hányadosba, s például egy RR *Lyrae* típusú változóban ~ 200 másodpercet kapunk. Ez körülbelül három perc — elenyésző idő a teljes változás mintegy félnapos periódusához képest. Egy $RRab$ csillag körülbelül félórás felszálló ágának viszont már csak 10 százaléka, s ha a fénygörbéken levő kis „hepe-hupákat” nézzük, ak-

kor már ott is vagyunk a rövidebb karakterisztikus idejű folyamatoknál. A fénygörbének ezeket a finom részleteit biztosan nem magyarázhatjuk meg ATLAS-modellekkel!

A *hidrosztatikus egyensúly* definíció szerint nem áll fenn egy pulzáló csillagban, mert mozog a légkör. Ha tehát sikerül egy pulzáló változó színeit reprodukálni az ATLAS-modellekkel, ez azt jelenti, hogy a sűrűség és a hőmérséklet eloszlása csillagunk légkörében — esetleg teljesen véletlenül — körülbelül megegyezik egy sztatikus modell eloszlásával. „A pulzálás csupa stacionárius állapoton keresztül történik” — mondhatnánk ilyenkor, s egyébként azt várjuk, hogy a viszonylag lassan pulzáló csillagokban ez így is legyen. A hidrosztatikus modellek egyetlen szabadon változtatható paramétere (egy adott T_e mellett) a nehézségi gyorsulás a csillag felszínén; ezért bevezethetjük az „effektív nehézségi gyorsulást” (g_e), amely általában nem lesz egyenlő a

$$g = - \frac{GM}{R^2}$$

sztatikus nehézségi gyorsulással (ahol G a gravitációs állandó, M a csillag tömege, R pedig a sugara), hanem a fázis függvényében változni fog. $g_e > g$, ha a csillag légköre kifelé gyorsulva halad, befelé gyorsulás esetén megfordul a reláció, végül $g = g_e$, ha a légkör egyenletes sebességgel mozog. Mindez persze csak közelítőleg igaz, mert igen bonyolult mozgások zajlanak le egy pulzáló csillag légkörében. Előfordulhat, hogy a légkör legkülső része még befelé esik, amikor a légkör alja már megindult kifelé.

Az RR Lyrae csillagok pulzálása során igen heves mozgásban van a csillag mintegy 1000 km vastagságú légköre: körülbelül fél nap alatt elmozdul 500 000 kilométert, s a mozgási sebesség a 100 km/s nagyságrendbe esik. (Tájékoztatásul annyit, hogy ez az ottani hangsebességnek legalább a tízszerese!) *Szuperszonikus áramlással* állunk tehát szemben, s magyarázatára olyan matematikai és elméleti fizikai apparátusunk van, amely már a szubszonikus áramlások leírásában is rendszerint csődöt mond. Emiatt csak igen kvalitatív modelljeink vannak, amelyek közül a két szélsőséget meg is említjük.

„Dugattyús határfeltétel” alatt azt értjük, hogy csillagunk légkörét alulról egy merev fallal nyomjuk kifelé. Amikor a nyomás elindul (a fel szálló ág kezdete a fénygörbén?) az effektív g két nagyságrenddel túllépi a sztatikust, mialatt a légkör felgyorsul annyira, hogy a mozgási sebesség a szökési sebességet is túllépi?! A színeké magyarázatára nagy g -jú modell kell, mert a „dugattyú” a légkört alulról nyomván annyira összepréseli, mintha egy százszor akkora tömegű csillag lenne egy sztatikus légkör alatt.

A másik határeset az volna, hogy az 1000 km vastag légkör gyakorlatilag nyugszik. A csillag alsóbb régióiból jön egy lökeshullám, különböző szerzők modelljei szerint 50—100 km/s sebességgel. Keresztül-szalad a légkörön, azt magával ragadni — miként egy pumpálás alulról — nem képes, de az energiájából nem kevés disszipál a légkörben, amelyet így felhevít. Kb. 3 perc múlva beáll a sugárzási egyensúly, s a lökeshullám által hőenergiával feltöltött légkör nemcsak kifényesedik, hanem elkezd hevesen kiterjedni. Viszonylag kisebb effektív g -jú és nagyobb effektív hőmérsékletű modellek közelíthetik ezt a helyzetet. Periódusonként 10^{31} J energia jön lökeshullámok formájában. Ez $\sim 10^{37}$ J/s nagyságrendű luminozitást jelent: ez körülbelül 10 százaléka az RR Lyrae típusú változók 10^{38} J/s-os luminozitásának és körülbelül tízszerese a Napunkénak!

A *lokális termodinamikai egyensúly* kérdésével itt nem foglalkozunk, mert ez ugyanolyan formában vetődik fel, mint a sztatikus modelleknél. Nemradiális pulzáció esetén az ATLAS-modelleket módosítani kellene, hogy a légkör (azaz a pulzálás) nem gömbszimmetrikus voltát is figyelembe vehessük.

Ezen előzetes megfontolások után nem meglepő, hogy az RR Lyrae csillagok színeit a leghevesebb változás idején — felszálló ágba — nem lehet sztatikus modellekkel visszaadni. A leszálló ágba elfogadható, bár nem kifogástalan egyezést lehet kapni a kis g_e -jú modellekkel. Ha a színképvonalakból a gyorsulás definíciója szerint képezzük a légkör kinematikai gyorsulását, akkor pl.:

$$a = \frac{dv}{dt} \approx 280 \text{ cm/s}^2$$

az SU Dra nevű RR Lyrae csillagnál a leszálló ágba. A stacionárius légkörmodellekből viszont $\sim 60 \text{ cm/s}^2$ adódik. Ez talán még összhangba hozható azzal, hogy ekkor a légkör majdnem szabadon esik. De vannak olyan csillagok is, amelyekben ilyen egyezés sem érhető el: fénygörbéjük nem illeszthető a 7/a—d. ábrákra. Ezeknél nyilván bonyolultabb modellek kellenek: a két paraméteres (T_e , g_e) sztatikus modellesalád nem elégséges.

Záró megjegyzések

Színképet nem vehetünk föl minden csillagról, amelyiknek tudni szeretnénk az effektív hőmérsékletét és felszíni nehézségi gyorsulását. A sokkal kevesebb észlelési időt igénylő fotometriával szeretnénk elérni, hogy sok — esetleg változó — csillagról tudjuk meg az előbb említett

mennyiségeket. Az elsődleges azonban a színek, s ha a színek egyeznek, a színek még eltérhet. A fotometria keretei között a sávok keskenyítésével és szaporításával segíthetünk magunkon, ha ilyen probléma lép fel.

A sztatikus csillaglégkör-modelleket manapság igen részletesen kidolgozták. Európa legnagyobb számítógépeivel is végezhető „nagyiparrá” vált az ilyen modelcsaládok létrehozása. A nemstacionárius modellek vizsgálata azonban még szinte gyermekcipőben jár, mert ehhez nem elég a nagy számítógép: a fizikának a jelenleg kevésbé divatos, elhanyagoltabb ágaiban — például a hidrodinamikában, a turbulens közeg viselkedésének jobb megértésében — volna szükség jelentős előrelépésekre.

A VÁLTOZÓCSILLAGOK ELOSZLÁSA A TEJÚTRENDszerben

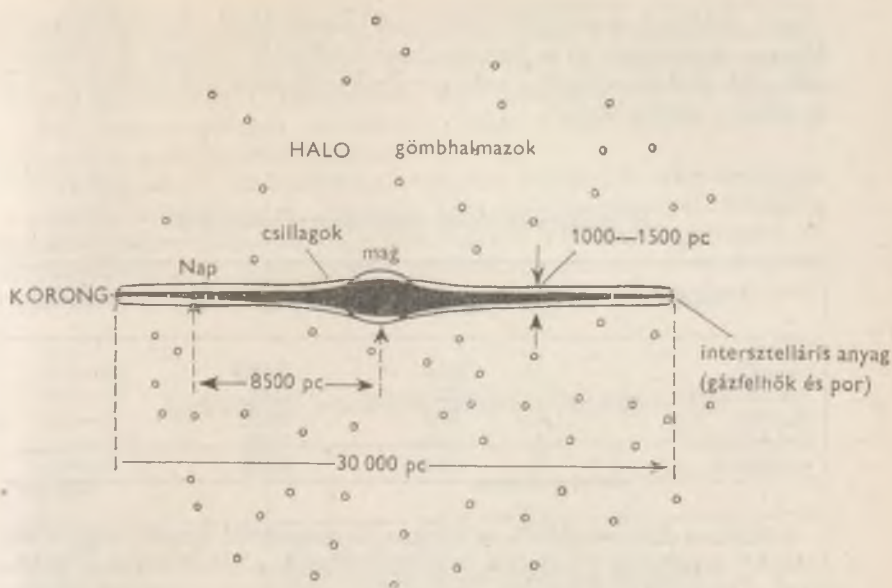
A változócsillagoknak rendkívül nagy az asztrofizikai jelentősége. A különböző típusú változók vizsgálatai igen fontos kérdésekre adhatnak választ: hogyan fejlődnek a csillagok, milyen a felépítésük, milyen folyamatok játszódnak le a belsejükben és a felszínükön stb. Mivel igen sok változócsillagot ismerünk (számuk már meghaladta a 25 000-t), *statisztikai szempontból* is vizsgálhatjuk őket. A legkülönbözőbb tömegű és korú csillagok is előfordulnak a változócsillagok között, ezért érdekes feltérképezni tejútrendszerbeli eloszlásukat. Mivel Tejútrendszerünk igen öreg és nagyon fiatal objektumai (pl. a gömbhalmazok és az asszociációk) egyaránt tartalmaznak változócsillagokat, elhelyezkedésük ki-jelölheti a Galaxis idősebb és fiatalabb alrendszerait.

A Tejútrendszer felépítése

A Tejútrendszer igen durván *két alrendszerre* bontható. A csillagok legnagyobb része egy *lapos korongban* helyezkedik el, melynek átmérője kb. 30 kpc, vastagsága (a centrumnál) kb. 5 kpc. A korongban vannak a spirálkarok és a Galaxis centruma. A spirálszerkezet legjellemzőbb objektumai a H II zónák, a nyílthalmazok és a csillagasszociációk, a fényes OB-csillagok. A korong szimmetriasíkjában sötét ködök találhatók. A korongot a kissé lapult, *ellipszoid alakú halo* veszi körül, melynek átmérője kb. 50 kpc. A haloban főleg vörös óriáscsillagok és gömbhalmazok vannak. A Tejútrendszer sematikus képét mutatja az 1. ábra.

A korong csillagai a Galaxis középpontja körül *keringenek, közel körpályán*, mégpedig úgy, hogy a középponthez közelebbi csillagok gyorsabban, a távolabbiak lassabban mozognak. Napunk például, amely szintén a korongban helyezkedik el, nagyjából 250 millió év alatt tesz meg egy fordulatot a Tejútrendszer centruma körül.

A halo csillagai és a gömbhalmazok ebben a keringésben nem vesznek részt. Ezek az objektumok *nagy inklinációjú, elnyúlt pályákon* mozognak a Tejútrendszer centruma körül.



1. ábra. A Tejútrendszer sematikus képe

A populációk

1944-ben fedezte fel Baade, hogy a csillagok két, lényeges tulajdonságaikban különböző csoportra oszthatók. A legfontosabb különbségek a csillagok e két csoportja között a következők: az *I. populáció tagjai lényegesen fiatalabbak*, és fémtartalmuk is nagyobb, mint a *II. populáció*saké. A későbbiekben ez a felosztás fokozatosan finomodott, és ma már öt populációt különböztetünk meg: a halo II., közbülső II., korong, öregebb I. és extrém I. populációkat.* Itt csak legfontosabb tulajdonságaikat említjük röviden.

A halo II. populáció tagjai mozognak a legnagyobb sebességgel a Naphoz képest, ez a sebesség a következő csoportokban egyre kisebb, míg az extrém I. populáció csillagainak átlagsebessége alig különbözik a Napétól. A halo II., közbülső II. és a korong populáció tagjai erős sűrűsödést mutatnak a Tejútrendszer centruma felé, és eloszlásuk nagyjából egyenletes, míg az öregebb I. és extrém I. populáció tagjai nem koncentrálnak a centrum felé, és főleg a spirálkarokban találhatók meg.

* A populációkról részletesebb ismertetést olvashatunk a Csillagászati Évkönyv 1970-es kötetében, Szeidl Béla: „A galaktikus halo” c. cikkében

Az 1. táblázat mutatja a különböző populációkba tartozó csillagok átlagos távolságát ($\bar{r}$) a Tejútrendszer fősíkjától, bennük a héliumnál nehezebb elemek arányát a hidrogén gyakoriságához viszonyítva (Z_{ne}) és az átlagos életkorukat.

1. táblázat

A csillagpopulációk legfontosabb jellemzői

Populáció	$\bar{r}$ [pc]	Z_{ne}	kor [$\times 10^8$ év]
halo II.	2000	0,003	12—15
közbülső II.	700	0,01	10—15
korong	400	0,02	2—12
öregebb I.	160	0,03	0,1—1
extrém I.	120	0,04	0—0,5

A táblázat első oszlopából, az átlagos távolságokból látszik, hogy a különböző populációs típusokba tartozó csillagok a Tejútrendszer különböző alrendszeit alkotják. A nehézelemek gyakoriságának eltérése a csoportok csillagainak korbeli különbözőségére utal. A korkülönbségeket a táblázat harmadik oszlopa mutatja. Így a különböző populációs típusok léte fontos jelzője lehet a Tejútrendszer kialakulása és fejlődése különböző fázisainak.

A változócsillagok fajtái és elhelyezkedésük a Tejútrendszerben

A változócsillagok két nagy osztálya, a *fedési* és *fizikai* változók közül az utóbbiakkal foglalkozunk. Ezek ugyanis azok a csillagok, amelyek fényváltozását magában a csillagban levő tényezők okozzák, és így a *fényváltozás a fejlődési állapotot is tükrözi*.

A fizikai változók további két nagy csoportra oszthatók, a *pulzáló* és *eruptív* változókra.* Az itt említett változócsillagok többsége a pulzáló változók közül kerül ki, de szép számmal előfordulnak eruptívak is. (Az aránytalanságnak az az oka, hogy az eruptív változók egyik, valószínűleg igen népes osztálya, a *dMe flercsillagok* kis tömegű és luminó-

* Az eruptív változókról részletesen olvashatunk a Csillagászati Évkönyv 1979. évi számában, Jankovics István: „A csillagfejlődés kezdetei” c. cikkében. A pulzáló változócsillagok fényváltozásairól, a pulzációelméletéről a Csillagászati Évkönyv 1977. évi számában Szabados László: „Pulzáló változócsillagok” c. cikkében olvashatunk bővebben.

tású objektumok, és ezért *csak a Nap környezetében figyelhetők meg*. Előfordulási gyakoriságukból azonban arra lehet következtetni, hogy igen nagy számban fordulnak elő Galaxisunkban.) A cikkünkben szereplő eruptív változók: az U Geminorum, a Z Camelopardalis, a T Tauri és az RW Aurigae csillagok, valamint a nóvák. A többi említett változócsillag-fajta mind pulzációs változó.

A következő, 2. táblázatból leolvasható a különböző változócsillagok populációs hovatartozása. Látható, hogy *minden populáció bőségesen tartalmaz változócsillagokat*. Induljunk el tehát a fősíktól legtávolabb elhelyezkedő, halo II. populációs csillagoktól, és tekintsük át a különböző populációs változócsillagok tulajdonságait és térbeli elhelyezkedésüket!

2. táblázat

A különböző populációk változócsillag-típusai

Populáció	Változócsillag-típus
halo II. populáció (212. old.)	gömbhalmazok RRab csillagok (periódus $>0,45$ nap) RRc csillagok sárga szemireguláris változók mirák (periódus 150—200 nap, sp.: M)
közbülső II. populáció (218. old.)	RRab csillagok (periódus $<0,45$ nap) RRc csillagok mirák (periódus 90—150 nap, sp.: M) mirák (periódus 200—300 nap, sp.: M) szemireguláris óriáscsillagok (sp.: M) irreguláris óriáscsillagok (sp.: M)
korong populáció (220. old.)	mirák (periódus 300—350 nap, sp.: M) mirák (periódus >350 nap, sp.: M) U Gem és Z Cam változók nóvák W Vir csillagok
öregebb I. populáció (224. old.)	mirák (sp.: C, R, N, S) irreguláris és szemireguláris óriások (sp.: C, R, N, S) RV Tau csillagok δ Cephei csillagok (periódus <15 nap)
extrém I. populáció (227. old.)	δ Cephei csillagok (periódus >15 nap) vörös irreguláris és szemireguláris szuperóriások T Tau és RW Aur csillagok

A halo II. populáció változócsillagai

A gömbhalmazok

A gömbhalmazok* a halo legfeltűnőbb és legjellemzőbb objektumai. Csillagok százazreiből állnak, és nagy számban tartalmaznak változókat, elsősorban RRab, kisebb számban RRC és W Vir csillagokat.

A halo gömbhalmazai a *Galaxis legfémszegényebb tagjai*. Sőt, igaz az is, hogy minél távolabb van a halmaz a fősíktól, annál kevesebb benne a fém. A gömbhalmazok egy része a Galaxis centruma körül foglal helyet, ezek fémben már gazdagabbak, viszont kevesebb változócsillagot tartalmaznak.

Agömbhalmazokat több szempontból is lehet osztályozni, de számunkra a legérdekesebb az, hogy a bennük előforduló RRab csillagok átlagos periódusa szerint is két nagy csoportra oszthatók: az elsőben $P(\text{RRab}) = 0,54$ nap, a másodikban $P(\text{RRab}) = 0,64$ nap, a hosszabb átlagos értékkel rendelkező gömbhalmazok fémszegények.

A gömbhalmazrendszer nem vesz részt a Tejútrendszer rotációjában, a gömbhalmazok pályái nagy szögben hajlanak a fősíkhhoz, és a Naphoz képest viszonylag nagy sebességgel mozognak. Átlagos keringési sebességük a Galaxis centruma körül a Napra vonatkoztatva 140 km/s. Mivel a rendszer nem merev testként rotál, a keringési sebességek változnak a centrumtól való távolsággal.

A gömbhalmazok Tejútrendszerbeli eloszlását mutatja a 2. ábra. Az ábrán világosan látszik, hogy a gömbhalmazok minden szélességen előfordulnak, és a centrum körül sűrűsödést mutatnak.

RRab csillagok (periódus > 0,45 nap)

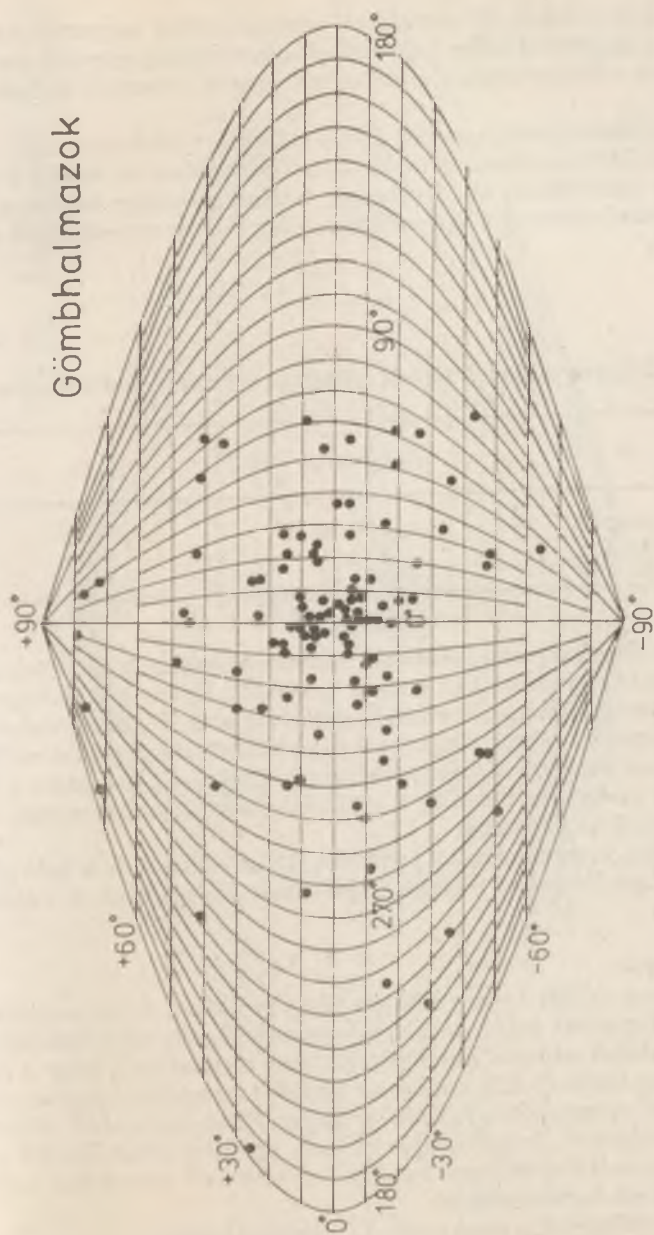
Elöljáróban érdemes pár szót szólni az RR Lyrae csillagokról általában, összefoglalva fő tulajdonságaikat.

Az RR Lyrae csillagok periódusa $\sim 0,2$ és ~ 1 nap között van, fényváltozásuk amplitúdója néhány tized magnitúdótól 1—2 magnitúdóig terjedhet. Periódusaikat igen nagy pontossággal ismerjük, periódusváltozásaik figyelemmel kísérése pedig a magyarországi változócsillag-kutatás egyik legelsőnek programba vett, és azóta is termékeny területe.

Az RR Lyrae csillagok alapvetően két osztályra bonthatók, az RRab csillagokra, melyeknek fénygörbéje aszimmetrikus, nagy amplitúdójú, periódusuk átlagosan 0,5—0,6 nap; és az RRC csillagokra, melyeknek fénygörbéje közel szinusz alakú, kisebb amplitúdójú, az átlagos periódusuk pedig 0,3 nap. Meg kell még említeni, hogy az RR Lyrae csillagok körében előfordul a többszörös periodicitás is.

* A gömbhalmazokról részletesen olvashatunk a Csillagászati Évkönyv 1975. évi számában Kanyó Sándor: „A Tejútrendszer gömbhalmazai” c. cikkében.

Gömbhalmazok



2. ábra. Gömbhalmazok eloszlása a Tejútrendszerben

Az RRab csillagok fémtartalmuk szerint további csoportokra oszthatók. Ha a Δs Preston-index (jellemző a fémtartalomra) nagyobb, az azt jelenti, hogy a fémtartalom kisebb, ehhez viszont hosszabb periódus tartozik.

A 3. táblázat mutatja az RR Lyrae csillagok térbeli sebességét a fémtartalmuk függvényében. A táblázat első oszlopában Δs , azaz a Preston-index, a másodikban az S sebesség (a Nap sebessége ezekre a csillagokra vonatkoztatva) a harmadikban a figyelembe vett csillagok száma található.

3. táblázat

RR Lyrae csillagok térbeli sebessége a Preston-index szerint

Δs	S [km/s]	n
0—2	55 ± 20	16
3—4	115 ± 25	10
5—10	185 ± 35	27

A galaktikus halo csillagai közül a legismertebbek azok az RRab csillagok, melyek periódusa 0,45 napnál hosszabb. Ezeknek a csillagoknak a fémtartalmuk kisebb, mint rövidebb periódusú társaiké. A Tejútrendszerbeli eloszlásuk a 3. ábrán látható a 0,45 napnál rövidebb periódusú RRab csillagokéval közösen. Minden szélességen előfordulnak, és a centrum körül sűrűsödést mutatnak. Pályáik, a gömbhalmazokéihoz hasonlóan, nagy szöget zárnak be a fősíkkal.

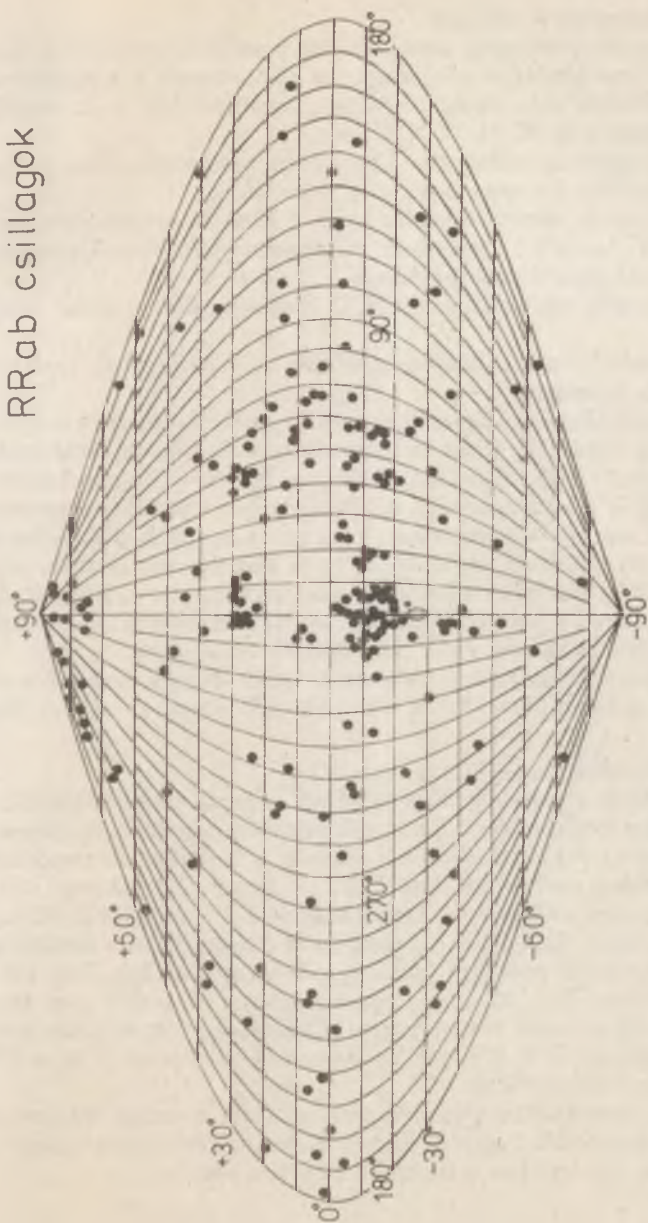
Láthatjuk, hogy a hosszabb periódusú RRab csillagok és a halo gömbhalmazai hasonló helyet foglalnak el Tejútrendszerünkben és mozgásuk is hasonló.

RRc csillagok

Ez a csoport az RR Lyrae csillagok rövid periódusú és kis amplitúdójú osztálya. Tagjainak száma meglehetősen csekély, alig több 200-nál, míg több ezer RRab csillagot ismerünk. Érdekes megemlíteni, hogy a gömbhalmazokban található RRc csillagok a periódus—amplitúdó diagramon élesen elválnak az ugyanazon halmazhoz tartozó RRab csillagoktól; különálló csoportot alkotnak. Amplitúdójuk bármely periódus esetén kb. 0,5 magnitúdó, míg az RRab csillagok amplitúdója növekvő periódussal (ugyanazon halmazon belül) csökken.

Az RRc csillagok egy része a halo II. populáció tagja.

RRab csillagok



3. ábra. RRab csillagok eloszlása a Tejútrendszerben

Sárga szemireguláris csillagok

A szemireguláris csillagok *szinte minden populációs csoportban megtalálhatók*. Néhány általános tulajdonságuk a következő: a periódus néhány tíz naptól több száz napig terjedhet, amplitúdójuk 1—2 magnitúdó, spektráltípusuk G, K, M, R, N, S lehet.

A szemireguláris csillagok 4 alcsoportra oszthatók: SRa, SRb, SRc, SRd változókra. Az egyes csoportok jellemzői:

SRa: óriások, spektráltípusuk M, C, S lehet, az amplitúdó viszonylag kicsi, kisebb, mint 2,5 magnitúdó. Főleg a fénygörbe formája és amplitúdója változik periódusról periódusra.

SRb: óriások, spektráltípusuk M, C, S és a periódus rosszul meghatározható.

SRc: késői típusú változó szuperóriások, a csoportnak csak néhány tucat tagja ismeretes.

A változócsillag-katalógus szerint a **SRd csillagok** csoportja is igen kicsi, alig 50 tagot számlál. Óriás és szuperóriás csillagok, spektráltípusuk F, G és K lehet. Fényváltozásuk periódusa kb. 40—120 nap között van, amplitúdójuk 1—2 magnitúdó. A SRd csillagok a periódusukat és amplitúdójukat sem ismétlik pontosan, mint erre a nevük is utal. Néha kettős maximumot mutatnak, előfordul mély és keskeny minimum is, sőt néha hosszabb időn keresztül is szabálytalan fényváltozást mutatnak. A SRd csillagok szintén a halo II. populáció tagjai és valószínűleg rokonságban állnak a gömbhalmazok vörös óriás ágának csillagaival.

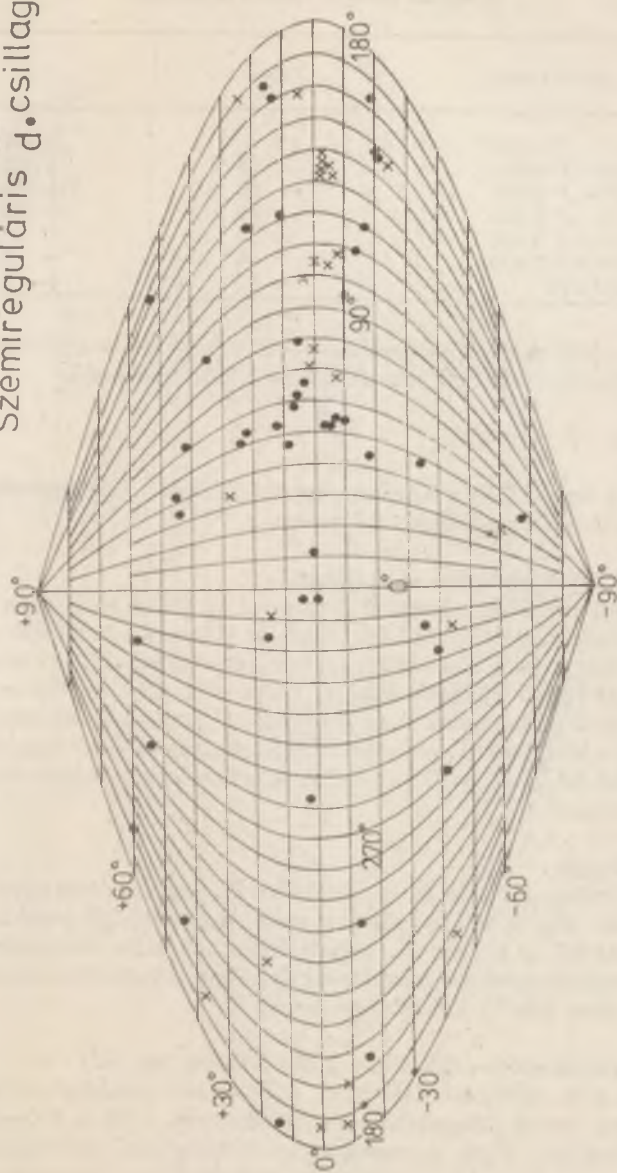
Az SRc és SRd csillagok eloszlása a 4. ábrán látható, *lényegében mindeütt jelen vannak*. Mozgásuk a többi halobeli objektumokéhoz hasonló.

Mirák (periódus 150—200 nap, sp.: M)

Csakúgy, mint a szemireguláris csillagok, a *mirák is megtalálhatók majdnem minden populációban*. Ez a változócsillag-osztály igen népes. Legáltalánosabb tulajdonságaik a következők: a fényváltozás periódusainak határa néhány tíz napnál kezdődik, de ismerünk csaknem 1400 nap periódusú mira csillagot is. Amplitúdójuk 1—2 magnitúdó fölött van. A spektráltípus M, R, N, S, C lehet. Az M típuson belül a későbbi spektrumhoz hosszabb periódus tartozik, pl. $\overline{sp} = M1,9$ -hez $\overline{P} = 131$ nap; $\overline{sp} = M5,3$ -hoz $\overline{P} = 324$ nap; $\overline{sp} = M6,0$ -hoz $\overline{P} = 508$ nap tartozik. Feloszthatók a mirák két csoportra, kizárólag a fényváltozás amplitúdója alapján is: $A \leq 2^m 5$ -nél *hosszúperiódusú változókról*, $A > 2^m 5$ -nél *mira változókról* beszélünk.

Érdeemes már itt áttekinteni, hogyan változik a mirák átlagos térbeli sebessége a periódus függvényében. A 4. táblázatból látható, hogy a csillagok sebessége csökken a hosszabb periódus esetén.

Szemireguláris C^* csillagok



4. ábra. SR_c és SR_d csillagok eloszlása a Tejútrendszerben

A mirák átlagos térbeli sebessége

Periódus [nap]	V_0 [km/s]	n
$P \leq 150$	17	$+ 49 \pm 22$
$150 < P \leq 200$	25	$+ 132 \pm 38$
$200 < P \leq 250$	50	$+ 68 \pm 12$
$250 < P \leq 300$	61	$+ 32 \pm 10$
$300 < P \leq 350$	73	$+ 16 \pm 10$
$350 < P \leq 400$	44	$+ 6 \pm 9$
$400 < P$	35	$+ 7 \pm 7$

A 150—200 nap közötti periódusú és M típusú mirák a Galaxis halo II. populációjához tartoznak, eloszlásuk az 5. ábrán látható.

A közbülső II. populáció

átmenet a halo II. és a korong populáció között. Csillagainak jó része rokona a halo II. populációs csillagoknak.

RRab csillagok (periódus $< 0,45$ nap)

A rövidebb periódusú, nagyobb fémtartalmú RRab csillagok a közbülső II. populáció tagjai. Mivel folyamatos az átmenet a hosszabb periódusú RRab csillagok felől, *éles határt nem lehet vonni* a halo II. és a közbülső II. populációs RRab csillagok között. Ezért a 3. ábra együtt mutatja az összes RRab csillag galaktikus eloszlását. A Preston-index szerinti határ a halo és a közbülső II. populáció között kb. $\Delta s = 4$ -nél van, a 2. táblázatból látható, hogy az RRab csillagok sebességeloszlásában itt valóban ugrás található.

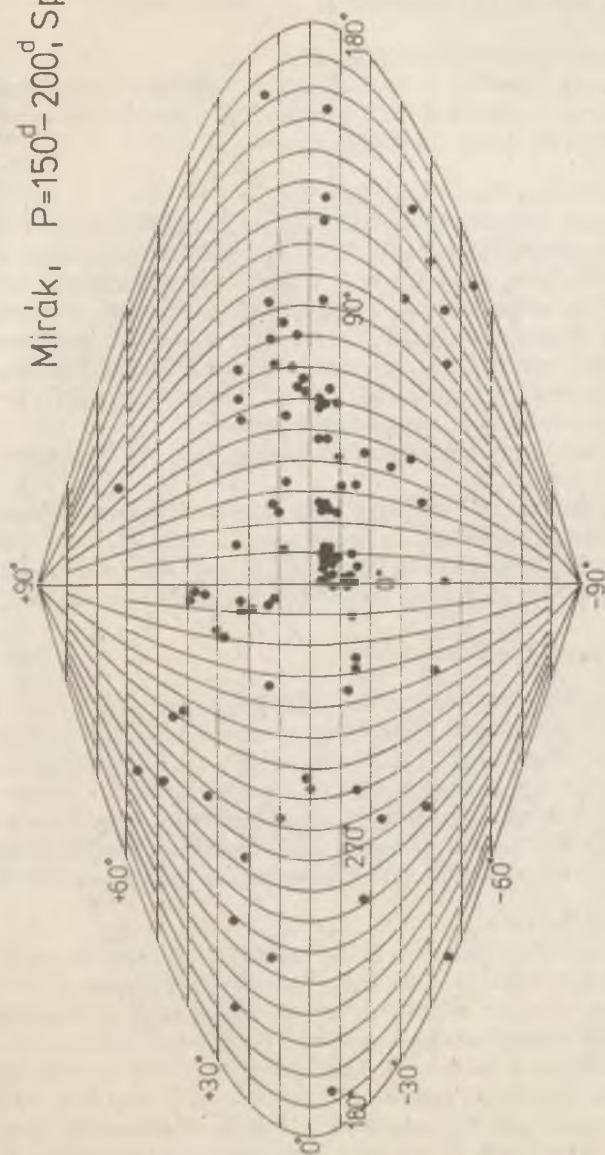
RRc csillagok

Az RRc csillagok a halo II. és a közbülső II. populációban egyaránt megtalálhatók. Míg az RRab csillagok esetében különböző periódusú változók tartoznak a kétféle II. populációhoz, az RRc csillagoknak nincs ilyen megkülönböztető tulajdonságuk. Csak *kinematikai sajátosságai*k alapján lehet köztük különbséget tenni.

Mirák (periódus 90—150, illetve 200—300 nap, sp.: M)

Mint az a 4. táblázatból látható, a fenti két periódusintervallumban a csillagok *kisebb átlagsebességgel* rendelkeznek, mint a 150—200 napos intervallumban. Ezek a csillagok — kinematikai sajátosságait véve alapul — már inkább a közbülső II. populációhoz tartoznak.

Mirák, $P=150^d-200^d$, $Sp:M$



5. ábra. A rövidebb periódusú mirák eloszlása a Tejútrendszerben

Meg kell még említeni, hogy a 150 napnál rövidebb periódusú csillagok sebességében igen nagy a szórás, így ez a csoport inkább átmenetnek tekinthető a halo II. és a közbülső II. populáció között.

Szemireguláris óriáscsillagok (sp.: M)

Mint már említettük, a szemireguláris csillagok lényegében minden populációban megtalálhatók. A közbülső II. populációba az SRa és SRb csoportból az M típusú óriások tartoznak.

Irreguláris óriáscsillagok (sp.: főleg M)

Az irreguláris változócsillagok fő jellemzője a szabálytalan fényváltozás és a késői spektráltípus (K, M, C, S). Sok változócsillag csak azért kerül ebbe az osztályba, mert keveset tudunk fényváltozásának lefolyásáról. Az irreguláris változócsillagok amplitúdója nem túlságosan nagy, ritkán emelkedik 2 magnitúdó fölé. Mivel fényváltozásuk csaknem teljesen szabálytalan, nehéz őket csoportokba sorolni. Mégis, két csoport megkülönböztethető az irreguláris változók között is, az első csoportba az óriások, a másodikba a szuperóriások tartoznak.

A közbülső II. populációba az óriáscsillagok M spektráltípusú irreguláris változói tartoznak.

Látható, hogy az eddig tárgyalt két populáció változócsillagai csaknem mind rokonai egymásnak, és az átmenet a halo II. és a közbülső II. populáció között lényegében folytonos. A fősík felé haladva a következő, korong populáció már több mindenben különbözik az előzőektől.

A korong populáció változócsillagai

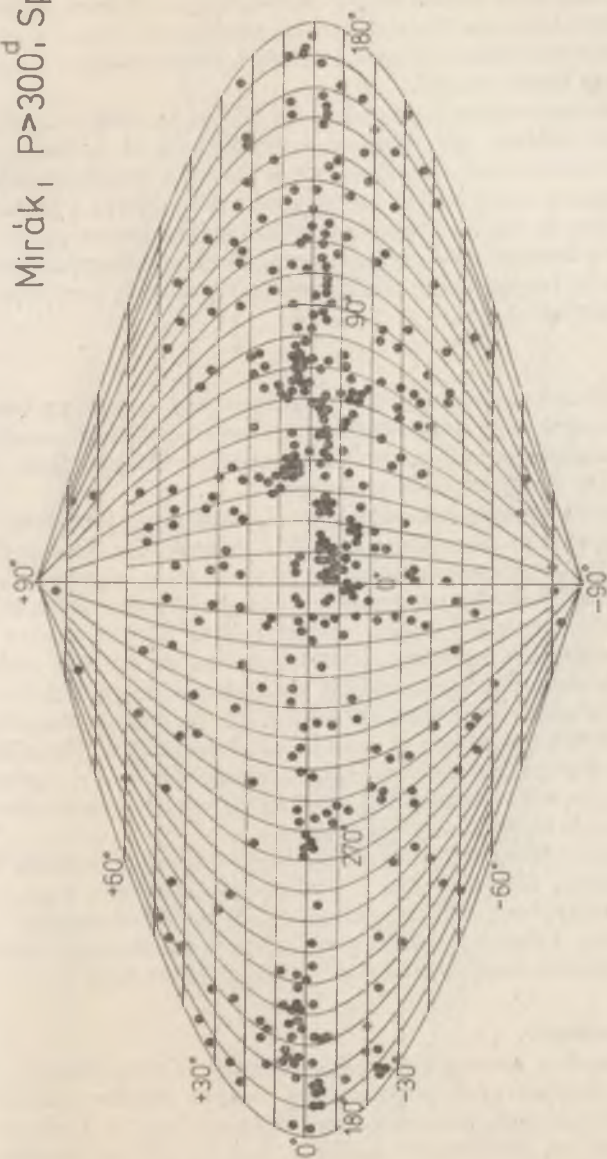
Mirák (periódus 300—350, illetve > 350 nap, sp.: M)

Ezek a változócsillagok biztosítják az átmenetet a korong populáció és a két II. populáció között. Közös eloszlásuk a 6. ábrán látható. Az ábrán megfigyelhető egy határozott sűrűsödés a fősík irányába, valamint a centrum körül. A 4. táblázat alapján megállapítható, hogy ezek a csillagok, különösen a 350 napnál hosszabb periódusúak, már viszonylag kis sebességgel mozognak a Naphoz képest, azaz jól követik a galaktikus rotációt.

U Gem és Z Cam változók

Az U Gem csillagok bizonyos időközönként 2—6 magnitúdós kitöréseket produkálnak, 1—2 nap alatt érik el maximális fényességüket és néhány nap, esetleg hét alatt csökken le a fényességük az eredeti szintre. A kitörések között általában megállapítható egy átlagos ciklushossz, ami 10 és néhány 1000 nap között lehet. Létezik egy statisztikai összefüggés az átlagos ciklushossz és az amplitúdó között: minél nagyobb a kitörés, annál ritkábban fordul elő. Sok közöttük a kettős. Spektrumuk minimumban folytonos, és erre erős H, He és Ca emissziós vonalak rakódnak.

Mirák, $P > 300^d$, Sp:M



6. ábra. A hosszabb periódusú mirák eloszlása a Tejútrendszerben

A *Z Cam csillagok* nagyon hasonlítanak az *U Gem csillagokra*, az átlagos ciklushosszuk azonban mindössze 10 és 40 nap között változik. Érdekes különbség a két fajta változócsillag között, hogy a *Z Cam csillagok* két kitörés közötti konstans fényessége nem mindig tér vissza a minimum szintjére (mint az *U Gem csillagok* esetében), hanem valahol a maximum és a minimum között megáll.

Populációs besorolásuk *bizonytalan*. Ha feltesszük, hogy a galaktikus egyenlítő két oldalán egy rétegben helyezkednek el, akkor a korong populációba tartoznának. Azonban minél kisebb a megfigyelésekkel átfogott tér sugara, annál inkább szférikus eloszlás adódik. A bizonytalanságnak két oka is van: a magas galaktikai szélességeken kevés a megfigyelés, így a minta nem megfelelő, továbbá ezen csillagok abszolút fényességének (a fényváltozás minimumában) a szórása sem ismert, így távolságuk bizonytalan.

Nóvák

A nóvák forró törpecsillagok. Fényességük pár nap — néhány tucat nap alatt 7—16 magnitúdót is növekszik, majd lassan (100 nap — néhány év alatt) visszahelványodnak eredeti fényességükre. Minimumban néhány nóva kis, gyors fényfluktuációkat mutat.

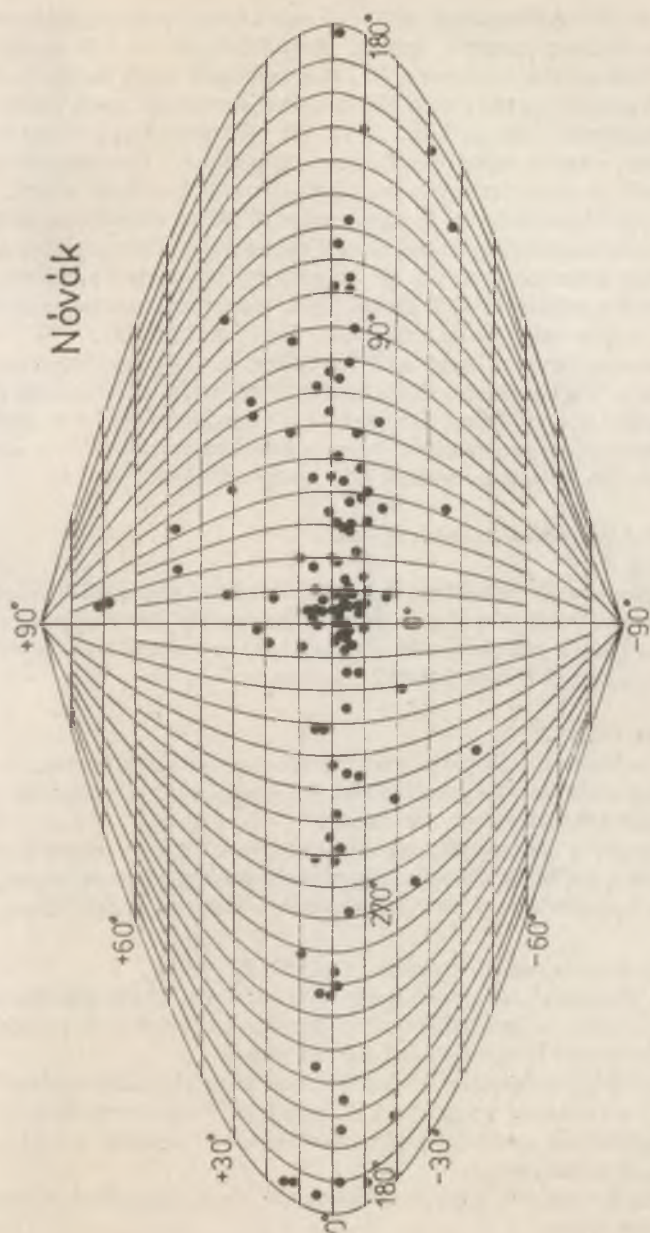
A kitörés alatt spektrumuk erős változásokon megy keresztül: maximumban a spektrum hasonló az *A* vagy *F* óriásokéhoz, maximum után a *H*, *He* és más elemek emissziós sávjai jelennek meg, abszorpciós komponenssel. A csökkenő fényességgel együtt a gázködökre jellemző tiltott vonalak jelennek meg a komplex spektrumban. Miután a nóva elérte minimális fényességét, spektruma folytonos lesz. Az itt leírt spektrumváltozásból következik, hogy a csillag kitöréskor ledobja külső burkát.

A nóvák 4 alcsoportra oszthatók. Az *Na*, *Nb*, *Nc alcsoportba* a fényváltozás lefolyásának *gyorsasága* alapján kerülnek a csillagok, *Na* jelöli a leggyorsabb, *Nc* pedig a leglassúbb nóvákat. A negyedik — *Nr* — alcsoportba a *visszatérő nóvák* tartoznak. Ez azt jelenti, hogy ezeken a csillagokon már legalább két kitörést megfigyeltek.

Hasonlóan az *U Gem* és *Z Cam csillagokhoz*, a nóvák populációs besorolása is bizonytalan. Eloszlásukat a 7. ábra mutatja. Látható, hogy a nóvák eléggé koncentrálódnak a fősík mentén, és sűrűsödést mutatnak a centrum környékén. Valószínű a korong populációhoz tartozásuk, bár egyes vélemények szerint vannak közbülső *II.* populációs nóvák is.

W Virginis csillagok

Ezek a csillagok a korong populáció jellemző változócsillagai. Szoros rokonságban vannak az *I.* populációkba tartozó cefeida változókkal. A *W Virginis csillagok* két csoportra oszthatók: az 1—3 nap közötti periódusúak az ún. *BL Herculis csillagok*, míg 10—40 nap közötti a pe-



7. ábra. Nóvák eloszlása a Tejútrendszerben

riódusa a *W Vir csillagoknak*. A 3—10 nap közötti periódusintervallumban nincs ezekhez hasonló csillag. Amplitúdójuk 1—1,5 magnitúdó. A fénygörbék alakja érdekes: a BL Her csillagok végigjárják 1—3 nap periódus között az úgynevezett Hertzsprung-sorozatot, amit részletesebben a cefeidáknál ismertetünk. A *W Vir* csillagok fénygörbéje kétféle lehet: lapos vagy tarajos maximumot mutatnak. Távmérésre is használhatók a rájuk érvényes periódus—fényesség reláció miatt.

Galaktikus eloszlásukat a 8. ábra mutatja. Mivel a fősíkban is előfordulnak, nehéz megkülönböztetni őket a cefeidáktól. Ezen segíthet a *z* irányú sebesség ismerete, amely a *W Vir* csillagoknál nagyobb, mint a cefeidáknál. Másik módszer: a *W Vir* csillagok spektrumában nincs emissziós fényvonal, míg a cefeidáknál előfordul a Ca II emissziója.

Érdemes megjegyezni, hogy a *W Vir* csillagok rövid periódusú csoportjához (azaz a BL Her csillagokhoz) tartozó változók előfordulnak gömbhalmazokban is, így tehát léteznek *II. populációs W Vir csillagok*. Vannak azonban olyan nézetek, hogy a gömbhalmazok *W Vir* csillagai tulajdonképpen hosszú periódusú RR Lyrae csillagok.

Az öregebb I. populáció változócsillagai

Az eddigiekben már láthattuk, hogy a különböző populációk, illetve az azokba tartozó változócsillagok között nincsenek éles határok, rokon, sőt, azonos típusú változók előfordulnak több populációban. Így van ez a következő, öregebb I. populáció esetében is.

Mirák (sp.: C, R, N, S)

Ennek a rendkívül kiterjedt változócsillag-osztálynak a tagjai eddig minden populációban megtalálhatók. Az öregebb I. populációba a legkésőbbi spektráltípusú mirák tartoznak.

A C és Se ($P > 350$ nap) típusú mirákra készült külön sebességeloszlás szerint ezek a csillagok kis sebességgel mozognak a Naphoz képest, azaz a fősíkban helyezkednek el, és részt vesznek a Galaxis rotációjában.

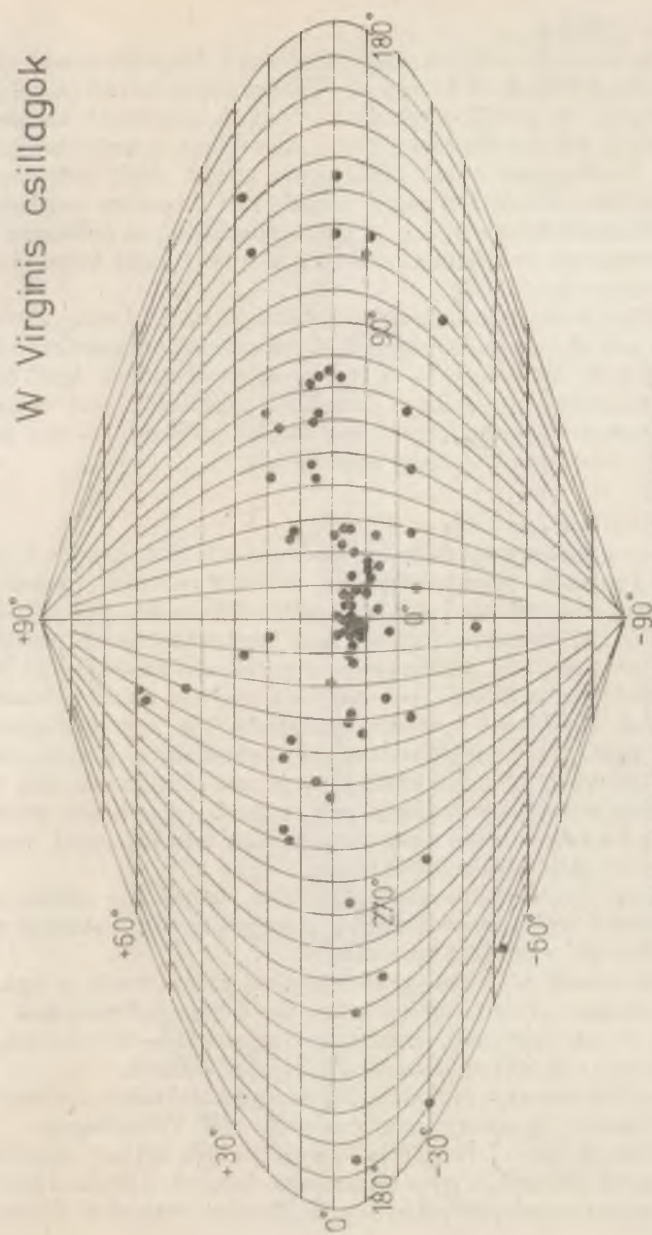
Irreguláris és szemireguláris óriások (sp.: C, R, N, S)

Az ebbe a populációba tartozó irreguláris változók közeli rokonai a közbülső II. populációs irreguláris változóknak. Az öregebb I. populációba a legkésőbbi típusú irreguláris óriások tartoznak.

A hasonlóképp legkésőbbi spektráltípusú szemireguláris óriáscsillagok szintén közeli rokonai a közbülső II. populációs szemireguláris óriásoknak. A legkésőbbi spektráltípus hangsúlyozása lényeges, mivel ez utal a nagyobb fémtartalomra.

Megkülönböztetésük spektrumuk szerint és kinematikai sajátságai alapján lehetséges.

W Virginis csillagok



8. ábra. W Vir csillagok eloszlása a Tejútrendszerben

RV Tauri csillagok

Változó szuperóriás csillagok, nagyjából stabil fényváltozással. A fénygörbe kettős hullámokból áll, egy-egy hullám között felváltva mélyebb és magasabb (fő- és mellék-) minimum van; az amplitúdó kisebb, mint 3 magnitúdó. A főminimumot gyakran helyettesíti a mellékminimum és fordítva. Periódusnak a két főminimum között eltelt időt mondjuk, és ez általában 30-tól 150 napig terjed. Két csoportra oszthatók, az *RVa típusúaknak konstans, míg az RVb típusúaknak periodikusan változó az átlagfényessége*. Spektrumuk változik a fényváltozás folyamán G-től (maximumban) késői K-ig.

Klasszifikáláskor nehéz megkülönböztetni őket a SRd csillagoktól, amik viszont a halo II. populáció tagjai. Szétválasztásuk *kinematikai tulajdonságaik* alapján lehetséges — mivel a spektráltípusuk igen hasonló. Az RV Tau csillagok — mint az öregebb I. populáció tagjai — *kis sebességgel mozognak a Naphoz képest*, míg az SRd csillagok — mint halo II. populációs objektumok — nagy sebességűek.

δ Cephei csillagok (periódus < 15 nap)

A cefeidák egyaránt megtalálhatók az öregebb I. és az extrém I. populációban. Általános tulajdonságaikat érdemes röviden összefoglalni. Periódusuk 1—50 nap közé esik, a fényváltozás amplitúdója 0,3—2 magnitúdó lehet. A fénygörbe formája nem egyforma minden periódusnál, hanem a következő, ún. *Hertzsprung-sorozat* szerint különböző. A legrövidebb periódusok esetében (1—5 nap) a fénygörbe *sima*, a felszálló ág meredekebb. Haladva a hosszabb periódusok felé, *egy púp jelenik meg a leszálló ágon*, ami a periódus további növekedésével a maximum felé vándorol. 10 napos periódus körül a maximum ellaposodik. Még később a *felszálló ág elején* jelenik meg a púp, végül a leghosszabb periódusok esetében a fénygörbe ismét *sima* lesz, meredek felszálló ággal, hasonlóan a legrövidebb periódusú cefeidákhoz.

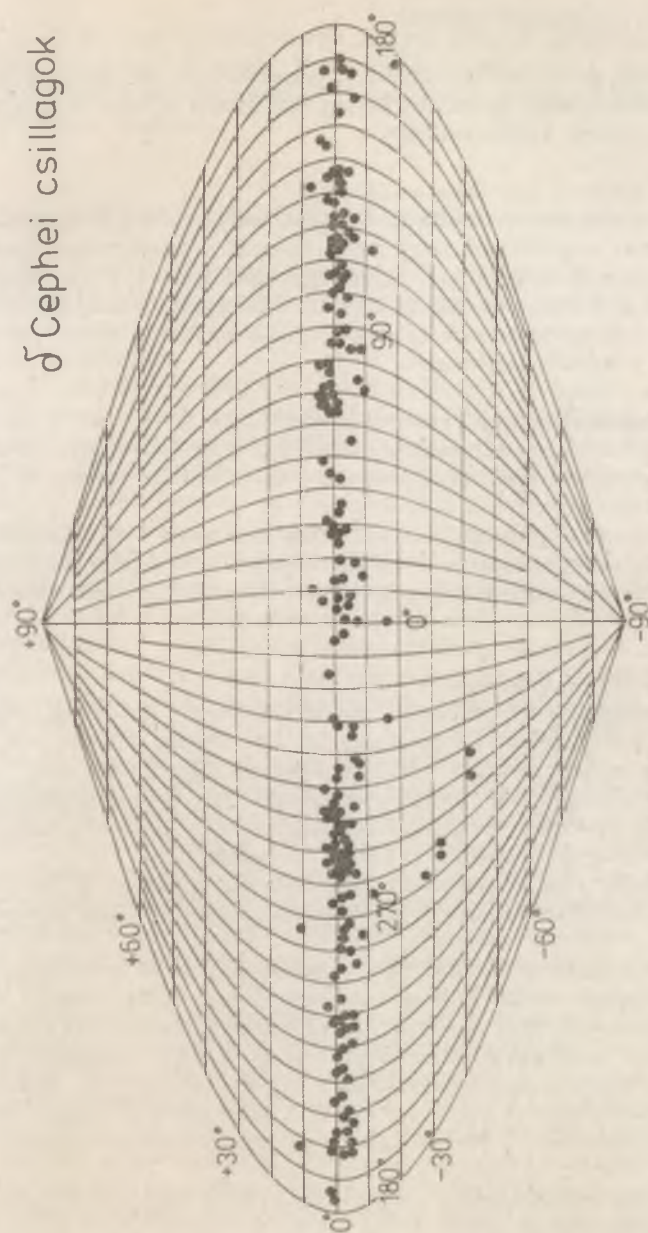
A periódus és a fénygörbe alakja általában állandó, bár néhány esetben már észlelhető volt a periódus hirtelen megváltozása, valamint a fénygörbe alakjának periodikus változása is.

Spektráltípusuk a fényességváltozás alatt megváltozik, a legkorábbi (F) maximumkor, míg a minimumban G—K jellegzetességeket mutat. Tömegük 3—14 naptömeg, sugaruk a Napénak 14—200-szorosa, luminositásuk 380—31 000 napluminositás között változik.

Fontos objektumok: a periódus—fényesség reláció miatt távolságmérésre használhatók, ugyanúgy, mint rokonaik, a W Vir csillagok.

A cefeidák (öregebb I. és extrém I. populációsak együtt) eloszlása a 9. ábrán látható. Feltűnő, hogy *a koncentráció igen erős a Galaxis fősíkjához, és a centrum felé nincs sűrűsödés*. A cefeidák részt vesznek a Galaxis rotációjában.

δ Cephei csillagok



9. ábra. δ Cephei csillagok eloszlása a Tauridrendszertben

Az extrém I. populáció változói

Elérkeztünk az utolsó, az extrém I. populációhoz. Az átmenet az előző populációkból, mint látjuk, itt is megvan, hiszen az extrém I. populáció legjellegzetesebb változócsillagai a

δ Cephei csillagok (periódus > 15 nap)

Az előzőekben már szoltunk a δ Cephei csillagok tulajdonságairól. Itt azt érdemes megemlíteni, hogy *minél hosszabb a cefeidák periódusa, azaz minél fényesebbek (periódus–fényesség reláció!), annál jobban kirajzolják a Galaxis spirális szerkezetét.* A 10. ábra felülnézetben mutatja a Galaxis fősíkját. A fiatal halmazok és a H II zónák mellett a fényes cefeidák is jól jelzik a spirális szerkezetet.

Vörös irreguláris és szemireguláris szuperóriások

Az irreguláris és szemireguláris változócsillagok igen népes osztályából a legnagyobb csillagok, a *szuperóriások* tartoznak az extrém I. populációba.

A szemireguláris szuperóriás csillagok eloszlása a 4. ábrán látható. Mivel kevés SRc csillag ismeretes (tulajdonságaikat lásd a halo II. populációnál) eloszlásuk sem rajzolódik ki jól, de látható, hogy koncentrálnak a fősíkhöz.

T Tau és RW Aur csillagok

Gyors, irreguláris fényváltozást mutató csillagok. A fényváltozás mértéke 0,5–1 magnitúdó lehet, néhány óra, esetleg néhány nap alatt. A T Tau csillagok diffúz ködökbe ágyazva figyelhetők meg, míg az RW Aur csillagok nem, bár fényváltozásuk lényegében ugyanolyan.

A T Tau csillagok spektrumában nagyon erős emissziós vas-vonalak vannak, valamint tiltott [S II], [O I] vonalak.

Tipikus extrém I. populációs objektumok, ugyanis a *T Tau csillagok a Tejútrendszer szimmetriasíkjában található sötét ködökkel vannak kapcsolatban.*

Az eddigiekben áttekintettük a változócsillagok jó részét populációs hovatartozásuk szerint. Sajnos, a valószínűleg egyik legnépesebb változócsillag-csoport, a *törpe emissziós (dMe) változók* kimaradtak a felsorolásból, mert — mint azt a bevezetőben már említettük — nagyon kis luminositásuk miatt csak a legközelebbiek figyelhetők meg, így eloszlásukra észlelésekkel nem tudunk fényt deríteni. Mint kiderült, igen különböző korúak is előfordulnak közöttük, ezért valószínű, hogy több populációnak is tagjai.

A 11. ábra mutatja a főbb változócsillag-fajták helyét a Hertzsprung–Russell diagramon.

Már az 1. táblázatból látható volt, hogy a Galaxis különböző csillag-populációi különböző korúak. Hogy keletkezésük időbeli sorrendjéről pontosabb képünk legyen, végig kell gondolnunk röviden, hogyan is alakult ki Tejútrendszerünk.

A Tejútrendszer kialakulásának rövid története

A főleg hidrogénből álló gázfelhő, melyből a Tejútrendszer kialakult, kezdetben semmiféle koncentrációt sem mutatott. Azonban tekintélyes impulzusmomentummal rendelkezett, mely meghatározta szimmetria-tengelyének irányát.

A *halo II. populáció csillagai* a legelső időkben keletkeztek, mikor az eredeti gázfelhőnek még nem volt különösebb formája. A kialakult csillagok az idő folyamán összekeveredtek, és egy olyan rendszert alkottak, mely a fent említett tengely körül szimmetrikusan helyezkedett el, és volt egy, erre a tengelyre merőleges szimmetriasíkja is. Mivel az először keletkezett csillagok nem tudtak síkba rendeződni, ezek őrizték meg a Tejútrendszer képét annak legkorábbi korszakából. A kialakulás első fázisának végén a halo csillagai koncentrálódtak a rendszer középpontja felé. Ezt az állapotot kitűnően mutatja a gömbhalmazok eloszlása a 2. ábrán.

Az ősgáz, amiből a fejlődés korai szakaszában nem lettek csillagok, koncentrálódni kezdett a már kialakult szimmetriasíkba, erősen sűrűsödve a centrum körül. A kondenzálódás során keletkezett csillagok a *közbülső II. populáció* tagjai. A két II. populáció közös képe rajzolódik ki a 3. ábrán, mely az RRab csillagok eloszlását mutatja.

Még laposabb az elrendeződése a *korong populációnak*, mely a kontrakció következő fázisában alakult ki. Mivel a csillagkeletkezés ott a leggyorsabb, ahol a legsűrűbb a gáz, az ekkorra kialakult centrumban hirtelen nagy számban keletkezett csillagok is a korong populáció tagjai. A korong populációt többek között a nóvák és a W Vir csillagok képviselik a változócsillagok között. A 7. és 8. ábrán látszik, hogy ezek a csillagok már egy lapos alrendszerbe tartoznak, ugyanakkor erősen sűrűsödnek a centrum körül.

Végül a megmaradt gáz egy vékony rétegben koncentrálódott a szimmetriasík körül. A koncentráció utolsó fázisában alakultak ki az *öregebb I. populációs csillagok*, majd még később az *extrém I. populáció* tagjai, melyeknek keletkezése ma is tart. A két I. populáció közös eloszlását jól mutatják a δ Cephei csillagok a 9. ábrán: a fősíkba koncentrálódnak, a centrum körül nincs sűrűsödés. A δ Cephei csillagok közül a legfiatalabbak pedig, a 10. ábra tanúbizonysága szerint — a Tejútrendszer legfiatalabb objektumaival együtt — jól mutatják a Galaxis spirális szerkezetét.

Az ősgáz lényegében teljesen *hidrogénből* állt. Az idő múlása folyamán

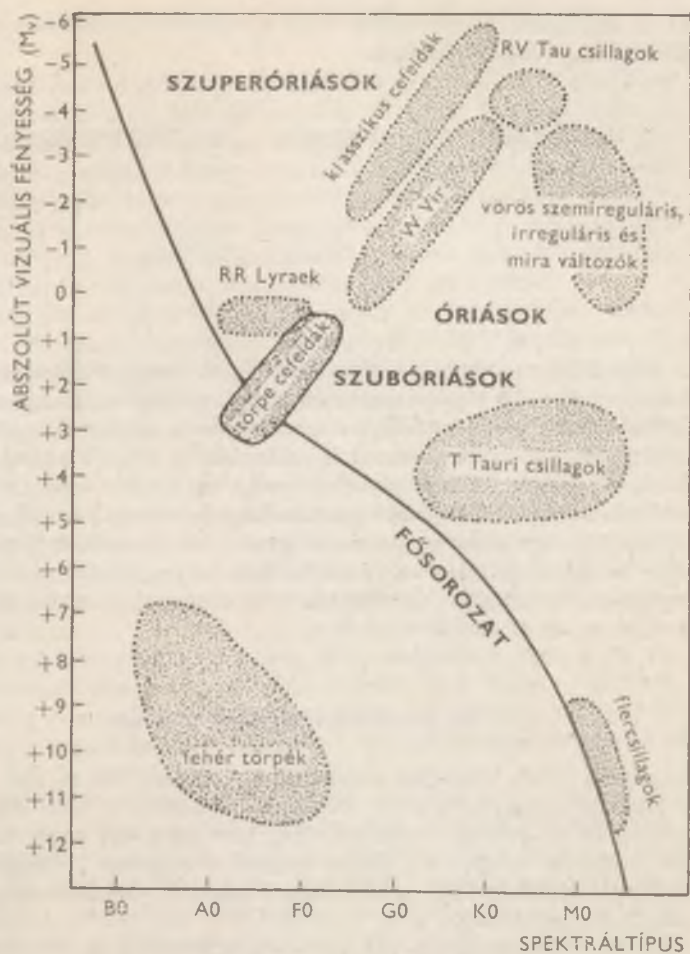


10. ábra. Tejútrendszerünk spirális szerkezete felülnézetben. A pontok a fiatal csillaghalmazokat, a körök a $H II$ zónákat, a keresztek pedig a fényes δ Cephei csillagokat jelölik

a csillagok maguk állították elő a *nehezebb* elemeket, és szórták szét az intersztelláris térbe. Így érthető, hogy az egyre később keletkezett csillagok *átlagosan* miért fémgazdagabbak, mint korábban keletkezett társaik. A fémgazdagság a kornak — úgy tűnik — általában monoton függvénye a Galaxisban, de lokális irregularitások előfordulására is van példa.

Láthatjuk tehát, hogy a változócsillagok jól kirajzolják a Tejútrendszer képét, fejlődésének különböző fázisaiban. Így van ez a szomszéd galaxisokban is, amelyekben még meg tudunk figyelni változócsillagokat. A különböző változócsillagok eloszlása más is lehet, mint a mi Tejútrendszerünkben, aminek az oka nyilvánvalóan az, hogy minden csillagrendszer másként fejlődik, más a kiindulási helyzet és más lehet például a fémek feldúsulásának üteme is. Ezt jól mutatják a Kis és Nagy Magellán Felhővel és az Androméda-köddel kapcsolatos újabb megfigyelések.

Mivel a változócsillagok fejlődésük különös, jól meghatározható szakaszában vannak, felderítésük és megfigyelésük a csillagászat egyik legfontosabb ága. Nagyon hasznos azonban az is, hogy Tejútrendszerünk történetének megismerésében a változócsillagok a segítségünkre lehetnek.



11. ábra. Változócsillagok a Hertzsprung—Russell diagramon. A különböző változók a bekerített területeken foglalnak helyet. A diagram alkalmas arra, hogy segítségével, a csillagok populációs hovatartozásának ismeretében következtetéseket vonjunk le fejlődésükről. A meghatározott területeken ugyanis csak adott tömegű, összetételű és megfelelő korú csillagok lehetnek

ÓRIÁS MOLEKULAFELHŐK A TEJÚTRENDszerben

A csillagközi molekulák rádiósugárzásának megfigyelése az utóbbi évtizedben igen látványos eredményekkel gazdagította ismereteinket a Tejútrendszer szerkezetéről, az intersztelláris anyagról, a csillagok keletkezéséről. A molekulavonalak csillagászata lehetővé teszi, hogy „be-lássunk” a sötét csillagközi felhők mélyébe. Ezek a sötét felhők hosszú évtizedeken keresztül elsősorban akadályt jelentettek a csillagászok számára a Tejútrendszer megismerésében. A felhők saját sugárzásának észlelése azonban feltárta az intersztelláris anyag egyik, mennyiségileg is domináns, és a csillagkeletkezésben is alapvető szerepet játszó összetevőjét: az óriás molekulafelhőket.

A molekulacsillagászat története

még igen rövid. Csillagok színpéjében fedezték fel az első — látható színeptartományba eső — molekulavonalakat: a CH-, CN- és CH⁺-molekulák és gyökök vonalait. Meg kell jegyezni, hogy először 1934-ben észlelték azokat a „diffúz optikai vonalakat”, amelyek minden bizonnyal intersztelláris molekuláktól erednek, de mindmáig nem sikerült őket azonosítani.

Az első rádiómolekula-vonalat — a hidroxil-gyök 18 cm-es vonalát, abszorpcióban — 1963-ban detektálták a Cassiopeia A rádióforrás irányából. Öt év szünet után, 1968-ban következett két újabb molekula, utánuk pedig a felfedezések özöne. Közben megszülettek a milliméteres hullámhosszú sugárzások érzékelésére alkalmas berendezések, és ezek meggyorsították a kutatások ütemét. Ma már több tucat csillagközi molekula rádióvonalait észlelték, s vannak köztük meglehetősen komplexek is. Mivel ezen a területen a technika is gyorsan fejlődik, és a még feltáratlan területek száma is nagy, szinte napról napra új, érdekes eredményekről értesülhetünk.

A molekulák lelőhelyei: a sötét csillagközi felhők

A sötét intersztelláris porfelhők az optikai megfigyelések régi akadályozói. A csillagfényvel való kölcsönhatásuk ad róluk felvilágosítást: a por elnyeli a csillagok fényét, és így a csillagok közt sötét területek jönnek létre; máshol a csillagok fénye szóródik a közeli porfelhők szemcséin, és fényes reflexiók köd jelenik meg. A kölcsönhatás harmadik formája: a por az infravörös tartományban kisugározza a felhőben található csillagok elnyelt fényét. A porfelhőket általában azzal szokták jellemezni, hány magnitúdóval csökkentik a mögöttük levő csillagok fényét.

Az intersztelláris anyag másik komponensét, a gázt korábban csak a hidrogénatom 21 cm-es vonalának segítségével tudták feltérképezni a rádiócsillagászok. A 21 cm-es sugárzás intenzitásának és a fényelnyelés mértékének összevetésével megállapították, hogy a gáz és a por mennyisége arányos egymással: az abszorpció növekedésével a 21 cm-es sugárzás erőssége is növekedett. Kiderült azonban, hogy ez csak a sötét felhőkön kívül igaz — ott, ahol az abszorpció kisebb 1 magnitúdónál. Van de Hulst fedezte fel 1954-ben, hogy a Taurus csillagkép sötét felhőiben a 21 cm-es sugárzás erőssége csak egyharmada az abszorpció alapján várhatónak. Sőt, amint a felhő centruma, az egyre sűrűbb részek felé mérték, az atomos hidrogén mennyisége nemhogy növekedett volna, de csökkent!

A jelenség kézenfekvő magyarázata, hogy ezekben a sűrű, sötét felhőkben a hidrogénatomok molekulákká kapcsolódtak össze. Laboratóriumi kísérletek szerint a porszemcsék segítik a molekulák képződését: elsősorban a porszemek felületén megkötött atomok tudnak molekulákká egyesülni.

A csillagközi térben jelenlevő ultraibolya sugárzás a nem eléggé sűrű felhőkben elbontja, disszociálja a molekulákat. A sűrűbb felhők szélén viszont kialakul egy molekularéteg, amely minden disszociáló sugárzást elnyel, és így a felhő belsejében már zavartalan a molekulaképződés. Számítások szerint a 10 atom/cm³-nél kisebb sűrűségű felhők teljesen átlátszóak a disszociáló sugárzások számára; a 10 és 100 atom/cm³ közöttiek részben átlátszóak, atomok és molekulák keverékéből állnak; míg a 100 atom/cm³-nél nagyobb sűrűségű felhőkben minden gáz molekuláris.

Eszerint (a gáz/por arányt állandónak feltételezve) az Ophiuchus csillagkép híres sötét felhőjében például a hidrogén 90%-a molekuláris — B. Bok mérései szerint. Ugyanez lehet a helyzet a Galaxis centrumában is, amelynek erős infravörös sugárzása valószínűleg nagy mennyiségű portól származik, 21 cm-es sugárzása viszont aránylag gyenge.

A hidrogénmolekulának sajnos nincs a Föld felszínéről is detektálható energiaátmenete, ezért igen nehéz közvetlen bizonyítékot szerezni a molekuláris hidrogén létezésére. A Copernicus mesterséges holdról sike-

ÓRIÁS MOLEKULAFELHŐK A TEJÚTRENDSZERBEN

A csillagközi molekulák rádiósugárzásának megfigyelése az utóbbi évtizedben igen látványos eredményekkel gazdagította ismereteinket a Tejútrendszer szerkezetéről, az intersztelláris anyagról, a csillagok keletkezéséről. A molekulavonalak csillagászata lehetővé teszi, hogy „belássunk” a sötét csillagközi felhők mélyébe. Ezek a sötét felhők hosszú évtizedeken keresztül elsősorban akadályt jelentettek a csillagászok számára a Tejútrendszer megismerésében. A felhők saját sugárzásának észlelése azonban feltárta az intersztelláris anyag egyik, mennyiségileg is domináns, és a csillagkeletkezésben is alapvető szerepet játszó összetevőjét: az óriás molekulafelhőket.

A molekulacsillagászat története

még igen rövid. Csillagok színekében fedezték fel az első — látható színeképtartományba eső — molekulavonalakat: a CH-, CN- és CH⁺-molekulák és gyökök vonalait. Meg kell jegyezni, hogy először 1934-ben észlelték azokat a „diffúz optikai vonalakat”, amelyek minden bizonnyal intersztelláris molekuláktól erednek, de mindmáig nem sikerült őket azonosítani.

Az első rádiómolekula-vonalat — a hidroxil-gyök 18 cm-es vonalát, abszorpcióban — 1963-ban detektálták a Cassiopeia A rádióforrás irányából. Öt év szünet után, 1968-ban következett két újabb molekula, utánuk pedig a felfedezések özöne. Közben megszülettek a milliméteres hullámhosszú sugárzások érzékelésére alkalmas berendezések, és ezek meggyorsították a kutatások ütemét. Ma már több tucat csillagközi molekula rádióvonalaikat észlelték, s vannak köztük meglehetősen komplexek is. Mivel ezen a területen a technika is gyorsan fejlődik, és a még feltáratlan területek száma is nagy, szinte napról napra új, érdekes eredményekről értesülhetünk.

A molekulák lelőhelyei: a sötét csillagközi felhők

A sötét intersztelláris porfelhők az optikai megfigyelések régi akadályozói. A csillagfényvel való kölcsönhatásuk ad róluk felvilágosítást: a por elnyeli a csillagok fényét, és így a csillagok közt sötét területek jönnek létre; máshol a csillagok fénye szóródik a közeli porfelhők szemcséin, és fényes reflexiók köd jelenik meg. A kölcsönhatás harmadik formája: a por az infravörös tartományban kisugározza a felhőben található csillagok elnyelt fényét. A porfelhőket általában azzal szokták jellemezni, hány magnitúdóval csökkentik a mögöttük levő csillagok fényét.

Az intersztelláris anyag másik komponensét, a gázt korábban csak a hidrogénatom 21 cm-es vonalának segítségével tudták feltérképezni a rádiócsillagászok. A 21 cm-es sugárzás intenzitásának és a fényelnyelés mértékének összevetésével megállapították, hogy a gáz és a por mennyisége arányos egymással: az abszorpció növekedésével a 21 cm-es sugárzás erőssége is növekedett. Kiderült azonban, hogy ez csak a sötét felhőkön kívül igaz — ott, ahol az abszorpció kisebb 1 magnitúdónál. Van de Hulst fedezte fel 1954-ben, hogy a Taurus csillagkép sötét felhőiben a 21 cm-es sugárzás erőssége csak egyharmada az abszorpció alapján várhatónak. Sőt, amint a felhő centruma, az egyre sűrűbb részek felé mérték, az atomos hidrogén mennyisége nemhogy növekedett volna, de csökkent!

A jelenség kézenfekvő magyarázata, hogy ezekben a sűrű, sötét felhőkben a hidrogénatomok molekulákká kapcsolódtak össze. Laboratóriumi kísérletek szerint a porszemcsék segítik a molekulák képződését: elsősorban a porszemek felületén megkötött atomok tudnak molekulákká egyesülni.

A csillagközi térben jelenlevő ultraibolya sugárzás a nem eléggé sűrű felhőkben elbontja, disszociálja a molekulákat. A sűrűbb felhők szélén viszont kialakul egy molekularéteg, amely minden disszociáló sugárzást elnyel, és így a felhő belsejében már zavartalan a molekulaképződés. Számítások szerint a 10 atom/cm³-nél kisebb sűrűségű felhők teljesen átlátszóak a disszociáló sugárzások számára; a 10 és 100 atom/cm³ közöttiek részben átlátszóak, atomok és molekulák keverékéből állnak; míg a 100 atom/cm³-nél nagyobb sűrűségű felhőkben minden gáz molekuláris.

Eszerint (a gáz/por arányt állandónak feltételezve) az Ophiuchus csillagkép híres sötét felhőjében például a hidrogén 90%-a molekuláris — B. Bok mérései szerint. Ugyanez lehet a helyzet a Galaxis centrumában is, amelynek erős infravörös sugárzása valószínűleg nagy mennyiségű portól származik, 21 cm-es sugárzása viszont aránylag gyenge.

A hidrogénmolekulának sajnos nincs a Föld felszínéről is detektálható energiaátmenete, ezért igen nehéz közvetlen bizonyítékot szerezni a molekuláris hidrogén létezésére. A Copernicus mesterséges holdról sike-

rült ugyan néhány csillag ultraibolya színekében H_2 -vonalakat mérni — és ebből már tudhatjuk, hogy van az intersztelláris térben H_2 -molekula —, de a vizsgált csillagok nem sötét felhőkben vannak, így az utóbbiak összetételéről a mérések nem adtak információt. A porfelhők molekuláris hidrogéntartalmát ezért közvetett módszerrel kell megbecsülni. Erre alkalmasak

a molekuláris hidrogén nyomjelző molekulái

A H_2 -molekula jelenlétére egyéb hidrogéntartalmú molekulák megfigyeléséből is következtethetünk, amelyeknek viszont van a *rádióirtományban* rotációs átmenete. Nagy mennyiségű OH -, NH_3 -, H_2O -, H_2CO -molekula található például az olyan felhőkben, amelyek 21 cm-es sugárzása aránylag gyenge; a molekuláris hidrogén legjobb nyomjelzője azonban

a szén-monoxid-molekula (CO).

Ez a leggyakoribb, legegyszerűbb szerkezetű molekula; *minden felhőben előfordul, ahol egyáltalán molekulák kialakulhatnak.* A CO -nak van egy rotációs átmenete, amely 2,6 mm-es sugárzást ad: ezt a vonalat szinte minden sötét felhőből detektálni lehet. A sugárzás létrejöttének feltétele, hogy a CO -molekula gerjesztve legyen — ebben az esetben van elég impulzusmomentuma, amit sugárzás formájában leadhat. A molekulákat gerjesztheti *környezetük sugárzása*, vagy a felhő egyéb részecskéivel való *ütközéseik*. Kimutatható, hogy ha a szén-monoxidot egy átlagos intersztelláris felhőben jelenlevő sugárzások gerjesztenék, akkor nem jöhetne létre a megfigyelt emisszió. Továbbá az is bizonyítható, hogy a szén-monoxid-molekuláknak *elektromosan semleges* részecskéikkel kell ütközniük. A hidrogénmolekula az egyetlen, amelyből elég sok lehet ahhoz, hogy a szén-monoxidot gerjessze. *Tehát a 2,6 mm-es szén-monoxid-vonal észlelhetősége nagy mennyiségű molekuláris hidrogén létezését bizonyítja.*

A 2,6 mm-es sugárzás erőssége legalább három tényezőtől függ: a szén-monoxid mennyiségétől, a gerjesztő H_2 -molekulák sűrűségétől, és a felhő hőmérsékletétől. Ha tehát a CO -sugárzást a H_2 nyomjelzőjeként akarjuk használni — azaz ebből akarunk a H_2 mennyiségére következtetni —, valamit tudnunk kell a CO és a H_2 mennyiségének arányáról.

Megfigyelések és elméleti meggondolások egyaránt azt mutatják, hogy *a CO/H_2 -arány a Galaxis különböző helyein állandó.* A szén-monoxid az egyetlen molekula, amely rendelkezik ezzel az értékes tulajdonsággal: ez az, ami a könnyű észlelhetőségen kívül igen jó nyomjelzővé teszi.

Megfigyelésekkel egyébként úgy becsülhető a CO/H₂-arány, hogy — állandó abszorpció/hidrogén arányt feltételezve — megmérjük a CO mennyiségét és az abszorpciót. (A Copernicus mesterséges holdról egyes csillagok szinképében közvetlenül is sikerült megmérni ezt az arányt.) Az elfogadott érték: CO/H₂ = $6 \cdot 10^{-5}$, ami azonban a módszer közvetettsége miatt elég tág határok között változhat.

A molekuláris hidrogénnek van még egy másik jó nyomjelzője is:

a formaldehid (H₂CO),

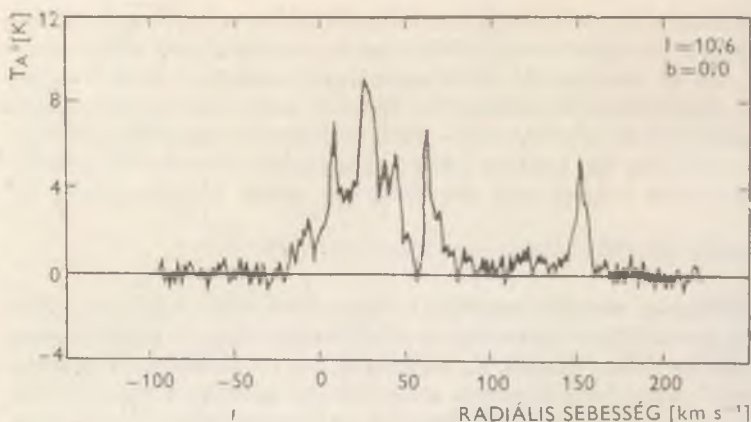
melynek 6 cm-es vonalát ugyancsak nagyszámú sötét felhőben észlelték. A H₂CO-molekula igen érdekes tulajdonsága, hogy 6 cm-es vonala mindig abszorpcióban látszik. Ez azt jelenti, hogy a Galaxis korongjában kell lennie valamilyen folytonos sugárzásnak, amelyet 6 cm-en a formaldehid elnyel. Ilyen pedig a kozmikus háttérsugárzáson kívül a legtöbb helyen nem létezik. Tehát ahol formaldehid van, ott abszorbeálja a háttérsugárzást — azaz a formaldehid-molekulákat a háttérsugárzás gerjeszti. Mint tudjuk, a háttérsugárzás hőmérséklete 2,7 K. A formaldehidnek tehát ennél „hidegebbnek” kell lennie, hogy ezt a sugárzást elnyelhesse. (A molekulák hőmérsékletén itt az ún. gerjesztési hőmérsékletet értjük, amelyet az határoz meg, mennyi az alacsony és magas energiaszinteken levő molekulák relatív száma.)

Egy átlagos molekulafelhő hőmérséklete kb. 10 K. A H₂CO-molekula tehát nincs termikus egyensúlyban a környezetével: valamilyen „hűtő mechanizmus” létezik, amely csak a formaldehid-molekulákat hűti. A hűtés a valóságban úgy is végbemehet, hogy a molekulák előbb egy magasabb energiaszintre kerülnek; egy olyanra, ahonnan aztán sugárzás kibocsátásával könnyebben kerülnek egy annál alacsonyabb energiájú állapotba, mint ami a termikus egyensúlynak megfelel. Townes és Cheung számításai szerint az a legvalószínűbb, hogy *ütközések* gerjesztik a formaldehid-molekulákat; a gerjesztő részecskéknek egy megfelelő tengely körül kell „megperdíteniük” a H₂CO-molekulát ahhoz, hogy ez az effektus létrejöhön.

A molekuláris gáz eloszlása a Galaxisban

Az óriás molekulafelhők

P. M. Solomon és D. B. Sanders a szén-monoxid 2,6 mm-es vonalában feltérképezte a Tejútrendszer egyenlítőjének egy szakaszát ($4^\circ < l < 70^\circ$ és $|b| < 2^\circ$ tartományban). Ezek a mérések tehát a molekuláris hidrogén eloszlását szemléltetik. A kis hullámhossz igen jó szögfelbontást



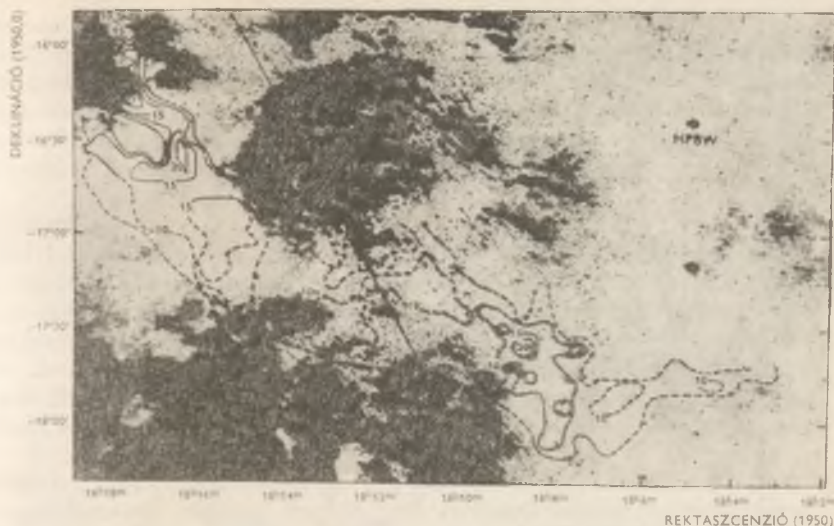
1. ábra. Tipikus szén-monoxid-vonalprofil

tesz lehetővé (1. ábra). A különböző csúcsok egy adott látóirány mentén különböző távolságban levő felhőknek felelnek meg. Az egyes csúcsok keskenyek, ami azt jelenti, hogy a felhők hőmérséklete alacsony, és a turbulencia is mérsékelt. A felhők térbeli eloszlását a mért sebességekből (Doppler-eltolódásokból) a Galaxis forgási törvényének ismeretében lehet meghatározni: az észlelt radiális sebességekhez egy galaktocentrikus távolságot kell rendelni. Solomon és Sanders főbb eredményei a következők: a molekuláris gáz 5—100 (átlagosan 40) parszek átmérőjű felhőkben van, a felhők átlagos sűrűsége 300 atom/cm^3 , egy felhő tömege kb. $5 \cdot 10^5$ naptömeg.

Ezek az óriás molekulafelhők tehát a Galaxis korongjának legnagyobb tömegű objektumai. Gravitációsan kötöttek, rendkívül stabilak. A 2. ábrán látható az M17 emissziós ködhez kapcsolódó óriás molekulafelhő szén-monoxid-térképe. E felhő kiterjedése a galaktikus hosszúság irányában 170 pc.

A felhők galaktikus eloszlását a 3. ábra mutatja; mellette látható összehasonlításként az atomos hidrogén eloszlása. A két eloszlás feltűnően eltér egymástól: az óriás molekulafelhők a galaktikus centrum körül egy gyűrűben tömörülnek, a centrumtól mért 4—8 kiloparszeknyi távolságok között. A molekuláris gáz „kisimított” sűrűsége a 4 és 8 kpc közötti gyűrűben 3 atom/cm^3 ; a galaktikus síkra merőleges kiterjedése ± 60 parszek, fele az atomos hidrogénének.

Az említett gyűrűben az intersztelláris anyag 90 százaléka molekuláris gáz. Az óriás molekulafelhők száma Solomon és Sanders mintája alapján 3—4000-re tehető. A molekuláris gáz adja tehát az intersztelláris anyag domináns komponensét — legalábbis a Naptól a Tejútrendszer centruma



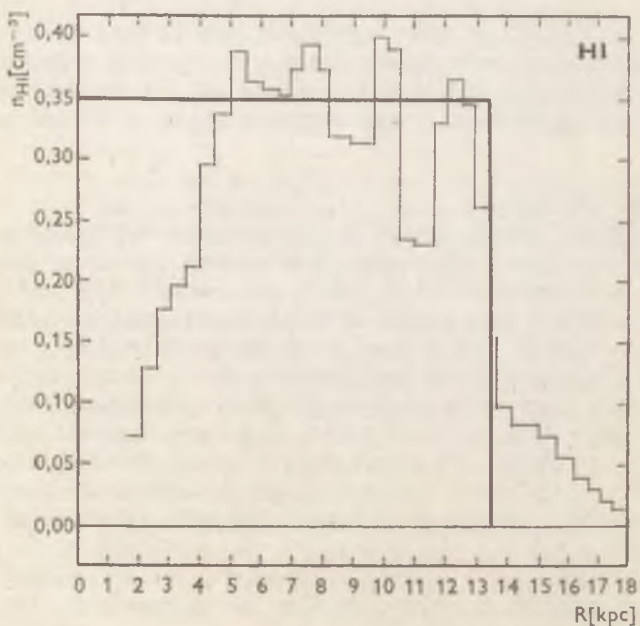
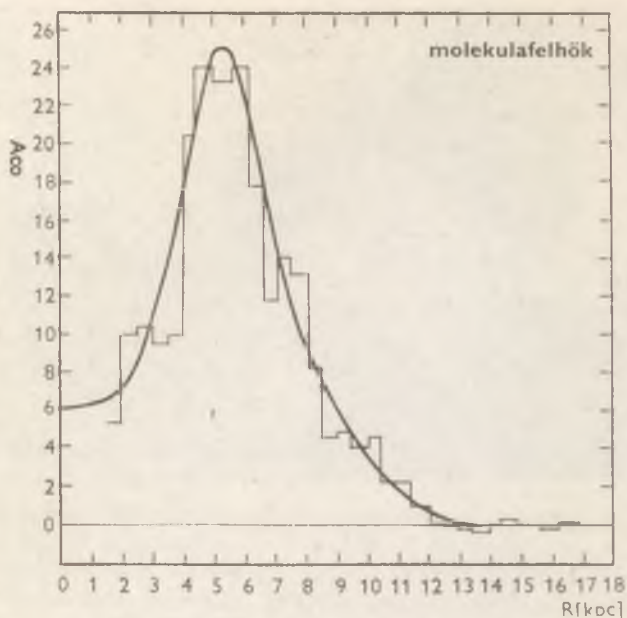
2. ábra. Az M 17 szén-monoxid-térképe

felé eső tartományban. Ez a gyűrű egyébként elég kitüntetett hely a Galaxisban: *ugyanabban a tartományban van az összes ismert H II terület, szupernóva-maradvány, és a legtöbb fiatal csillag.* Úgy látszik, hogy a csillagkeletkezés napjainkban a Tejútrendszernek ebben a térségében folyik.

Kapcsolatuk a spirálszerkezettel?

Az előzőek alapján úgy látszik, az óriás molekulafelhők közeli rokonságban vannak a Tejútrendszer legfiatalabb objektumaival, így azt várjuk, hogy a Galaxis spirálszerkezetével is. Ezért *igen meglepő, hogy* mind a szén-monoxid, mind a formaldehid észlelése éppen az ellenkezőjét mutatja: *a molekulafelhők nem a spirálkarok mentén helyezkednek el.* Mielőtt azonban ebből bármilyen következtetést levonnánk, azt is figyelembe kell vennünk, hogy Galaxisunk egyéb spirálkar-indikátorai sem mutatnak olyan szép, sima spirálstruktúrát, mint amelyet az extragalaxisokban láthatunk. Saját Galaxisunk spirálkarjainak feltérképezése éppen azért nehéz, mert benne vagyunk. A molekulafelhők esetében a kinematikai távolságmeghatározás közvetett jellege is „elmoshatja” az eloszlás lényeges vonásait.

A másik ok, ami miatt számos kutató óvatosan kezeli ezeket a negatív eredményeket, az, hogy az Androméda-ködben (ez az egyetlen extra-



3. ábra. A molekuláris és az atomos hidrogén sűrűsége a galaktocentrikus távolság függvényében

galaxis, amely jelenleg szén-monoxid-mérésekkel elérhető) éppen ellenkező képet találtak. F. Boulanger és munkatársai feltérképezték az Androméda-köd egyik spirálkarját, és annak környékét a 2,6 mm-es szén-monoxid-vonal segítségével, és azt találták, hogy *a szén-monoxid sokkal jobban kirajzolja a spirálkart, mint a neutrális hidrogén.* A spirálkarokban eszerint fokozott molekulaképződés folyik.

Kialakulásuk

Mivel az észlelések azt mutatják, hogy Galaxisunk molekulafelhői nem követik a spirálszerkezetet, valószínűleg nem úgy jönnek létre, hogy a galaktikus sűrűség hullám összenyomja a ritkább felhőket. Ha a sűrűség hullám szerepét kizárjuk, csak egyetlen mechanizmus jöhet számításba: *kis molekulafelhők ütközései során alakulnak ki az óriás felhőkomplexumok.* (Egy ritkább felhő kollapszusa például azért nem jöhet szóba, mert nincs hasonló tömegű ritka felhő a Galaxisban.)

Koruk

meghatározása jelenlegi össztömegük és keletkezésük „hatékonysága” ismeretében lehetséges. Solomon és Sanders (felhőütközéseket feltételezve) azt az eredményt kapta, hogy az óriás molekulafelhők átlagos életkora $3 \cdot 10^8$ év, tehát igen stabil képződmények. (Az Androméda-ködben végzett mérésekből viszont néhányszor 10^7 év adódik; ezt az ellentmondást talán a jövő észlelései megoldják.)

A kisebb sűrűségű, atomos hidrogénből álló csillagközi felhők ezekből a nagyon stabil, hosszú életű felhőkből hasadhatnak le, például akkor, amikor csillagok keletkeznek bennük.

Néhány kitüntetett helyről érdemes még szólni a felhők galaktikus eloszlásával kapcsolatban:

A Tejútrendszer centruma

tartalmazza a legnagyobb tömegű molekulafelhőket. *A molekuláris gáz teljes tömege kb. $5 \cdot 10^7$ naptömeg, tízszer annyi, mint az atomos hidrogéné.* (Ha ezt is számításba vesszük, már nincs a galaktikus centrumban túlsúlyban a II. populációs anyag.)

A gáz eloszlása a Tejútrendszer magjában jobban hasonlít az Sc típusú spirálok magjára, mint az Sb típusúakéra (amilyennek lennie kellene). A molekulafelhők számos karszerű képződményt rajzolnak ki. A gáz teljes tömege sokkal nagyobb, mint az Androméda-köd magjában. Molekulaészlelésekkel sikerült felderíteni *a gáz mozgásának* jellegét is a Tejútrendszer magjában. Korábban a 21 cm-es észlelések 3 kpc-ig tágulást mutattak, azon belül viszont már cirkuláris mozgást. N.



4. ábra. OB-asszociációkhoz kapcsolódó molekulafelhők; a folytonos vonalak a CO-emisszió határát, a szaggatottak az OB-csillagok által elfoglalt tartományt jelzik

Scoville szén-monoxid-észlelései szerint viszont a gáz még 400 parszek galaktocentrikus távolságnál is *kifelé* mozog!

A galaktikus centrum felhőinek prototípusa a *Sagittarius B2* nevű kompakt H II területhez kapcsolódó óriás molekulafelhő. A Sgr B2

molekula- és infravörös megfigyelései azt mutatják, hogy egy 12 parszek átmérőjű, nagy sűrűségű magja van, egy kb. 60 parszek méretű ritkább felhőbe ágyazva. Teljes tömege $3\text{--}5 \cdot 10^6$ naptömeg, a távoli infravörös mérésekből meghatározott luminozitása a Napénak 10^7 -szerese.

Mivel a csillagok születési helyei feltehetően éppen az óriás molekulafelhők, érdemes megvizsgálni, van-e kapcsolat

a csillagasszociációk és az óriás molekulafelhők

galaktikus eloszlása között. L. Blitz számos OB-asszociáció vidékéről készített szén-monoxid-térképet. A 4. ábra mutatja az eredményt. Bár az észlelési program még nem fejeződött be, az eddig megvizsgált OB-asszociációk mindegyike kapcsolatban van egy-egy óriás molekulafelhővel. A molekulafelhő minden esetben az asszociáció szélén van, kivéve a Monoceros OB 1-t. Ott viszont M. F. Walker korábbi optikai megfigyelései szerint a sötét felhő — amelyből a szén-monoxid-emisszió származhat — az asszociáció mögött van.

A hozzánk legközelebbi óriás molekulafelhő az Orion csillagképben van, és az Orion OB 1 asszociációval áll szerves kapcsolatban. Távolsága a Naptól 400—500 parszek közötti. Közelsége miatt rengeteget, és nagyon részletesen észlelték. Ismereteink a molekulafelhők belső szerkezetét illetően nagyrészt az Orionban végzett észleléseken alapulnak.

Az óriás molekulafelhők szerkezete

A nagy felbontású észlelések azt mutatják, hogy az óriás molekulafelhők több különböző hőmérsékletű és sűrűségű részből állnak. 5—20 parszek átmérőjű felhők alkotnak egy-egy 50—100 parszek vagy még nagyobb átmérőjű felhőkomplexumot. Még tovább részletezve szerkezetüket: a szén-monoxid-spektrumban fényes foltok vannak, amelyek nagyobb sűrűségű és hőmérsékletű „magokra” utalnak egy-egy felhőn belül. E magok átmérője kb. 1 parszek, sűrűségük $10^3\text{--}10^4$ atom/cm³, tömegük $10^2\text{--}10^3$ naptömeg. A sűrű magokból detektálható sugárzások igen érdekes jelenségeket tártak fel. Minden jel arra utal, hogy csillagok keletkeznek bennük! Vizsgáljuk meg, melyek ezek a jelenségek, és hogyan értelmezhetők.

Infravörös sugárzást

számos molekulafelhőből észleltek. Itt meg kell jegyezni, hogy az infravörös sugárzási tartomány különböző szakaszai más-más észlelési technikát igényelnek. A legközelebbi infravörös (a fotografikus tartomány

meghosszabbítása) és a legtávolabbi, a 0,4—1 mm hullámhosszak körüli (a milliméteres rádiótartomány meghosszabbítása) a Föld felszínéről is észlelhető. A kettő közötti tartomány általában nem, bár van néhány „ablak”, olyan hullámsáv, ahol a légkör átlátszó.

Az eddigi észlelések még elég hézagos képet adnak a molekulafelhők infravörös tulajdonságairól; általában ott észlelik őket, ahol valami érdekes várható. A molekulafelhőkben felfedezett infravörös források lényegében három csoportra oszthatók.

- A távoli infravörös sugárzás ($50\text{ }\mu\text{m}$ fölött) nagyrészt a *felhő nagy kiterjedésű részeiből* jön; térbeli eloszlása lényegében megegyezik a molekulavonalak eloszlásával.
- A kompakt infravörös források egyik típusának spektruma olyan, ami a *felhők mélyén levő forró fősorozati csillagoktól* származhat. Akármilyen korai színképű kék csillag van is egy ilyen sűrű felhő belsejében, a felhőből minden sugárzás csak az infravörösben tud kijönni.

Fiatal O—B típusú csillagok lehetnek pl. az Orionban, az ún. Kleinmann—Low-ködben. Maga a Kleinmann—Low-köd kiterjedt, hideg (600 K -nél hidegebb) infravörös forrás. Főként a $20\text{ }\mu\text{m}$ -nél hosszabb hullámhosszú tartományban sugároz. Ugyancsak forró, fiatal csillagok lehetnek a ρ Ophiuchi sötét felhőben észlelt, $2,2\text{ }\mu\text{m}$ -en sugárzó pontszerű objektumok.

- Vannak olyan $2\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$ -en sugárzó infravörös források, amelyek valószínűleg *protocsillagok*. Kompaktak, szögátmérőjük kisebb 2 ívmásodpercnél, színképük pedig néhányszor 100 K -es hőmérsékletű fekete testhez hasonló. Az infravörös sugárzás energiaeloszlása azt sugallja, hogy az energiaforrást vastag, forró porréteg veszi körül. Elsőként felfedezett és legismertebb képviselőjük az Orionban a Becklin—Neugebauer-objektum.

Mézerforrások molekulafelhőkben

Térbelileg az infravörös forrásokhoz kapcsolódnak. A földi mézerekhez hasonlóan a kozmikus mézerek működésének is az az alapfeltétele, hogy a molekulák jelentős része olyan magas energianívójú állapotban legyen, ahonnan a spontán emisszió valószínűsége csekély, viszont egy, a molekulákat érő megfelelő energiájú foton ugyanolyan hullámhosszúságú másik foton kibocsátását indukálja, azaz a beeső sugárzás felerősödik. *1965-ben észleltek először mézersugárzást a Galaxisban:* az Orion csillagkép molekulafelhőjéből a *hidroxil-gyök* 1665 MHz -es vonalának igen erős, környezetével messze nem termikus egyensúlyban levő sugárzását. Még erősebb mézeremissziót észleltek később a *vízgőz* 22 GHz -es vonalában, majd ammónia-, szilícium-dioxid-, formaldehid-mézereket fedeztek fel,

sőt az Orionban metilalkohol-mézer is van. A mézersugárzás nyilván nagyon speciális körülményeket feltételez. Kell egy energiaforrás, amely biztosítja, hogy a magas energiaszinten (az indukált emisszió ellenére) mindig megfelelő számú molekula legyen. A mechanizmust, amely fenn tartja a mézeremisszióhoz szükséges gerjesztettséget, *mézerpumpának* nevezik. Lehet ez sugárzás, ütközések, vagy kémiai pumpálás (például ha a felhőben bizonyos kémiai reakciók meghatározott energiaszinten levő molekulákat eredményeznek).

Számunkra az a legfontosabb, hogy milyen csillagászati objektumokkal azonosíthatók a mézerek, és milyen energiaforrás pumpálja őket. Az alábbi megfigyelési eredmények azt sugallják, hogy a csillagkeletkezéshez van valami közük:

- *A hidroxil-mézerek* gyakran kompakt H II zónák mellett vannak (ezekről később még lesz szó); *a nagytömegű csillagok* keletkezési folyamatának végső fázisában léteznek.
- *A vízgőzmézerek* gyakran kapcsolódnak térben Herbig—Haro-objektumokhoz, T Tauri csillagokhoz, emissziós B csillagokhoz. Ezek pedig *a kisebb tömegű csillagok* kialakulásának utolsó fázisai.*

A molekulafelhőben levő mézerforrások így a felhők és a csillagkeletkezés kapcsolatát bizonyítják. Ugyanezt bizonyítja

a molekulafelhők és a H II területek kapcsolata.

Már említettük, hogy az ionizált hidrogénfelhők (H II területek) és a molekulafelhők a Galaxisban egyaránt egy 4—8 kpc galaktocentrikus távolságok közötti gyűrűben helyezkednek el. Még ennél is szorosabb azonban a kapcsolat közöttük: *minden H II régió molekulafelhő szélén van.* (Fordítva nem igaz: nincs minden molekulafelhő szélén H II zóna.)

Az ionizált hidrogénfelhőket az O típusú csillagok ultraibolya sugárzása hozza létre. Születése pillanatában — amikor eléri a fősorozatot — a csillag még csak egy nagyon kicsiny H II zónával rendelkezik. A csillag fősorozati fejlődése során ezek a H II területek tágulnak, amint egyre több és több gáz ionizálódik. 1967-ben M. Ryle és D. Downes olyan kis kiterjedésű rádióforrásokat fedezett fel molekulafelhőkben, amelyek *a H II területek korai fejlődési szakaszaival azonosíthatók.* Ezek a *kompakt H II területek.* Átmérőjük általában kisebb fél parszeknél. Nyilván az éppen megszületett O típusú csillagokat veszik körül, és belőlük lesznek később az optikai színtéptartományban is világító, kiterjedt H II zónák. Feltűnő tulajdonságuk, hogy csoportokat alkotnak, molekulafelhők bel-

* Lásd Jankovics István cikkét az 1979-es Csillagászati Évkönyv 141. oldalán.

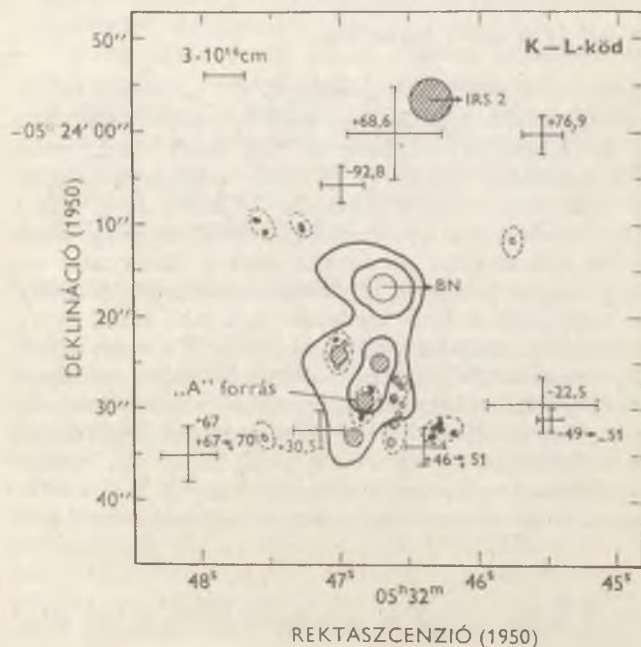
sejében vannak, közel a szélükhöz, és — mint említettük — gyakran hidroxil-mézerek mellett.

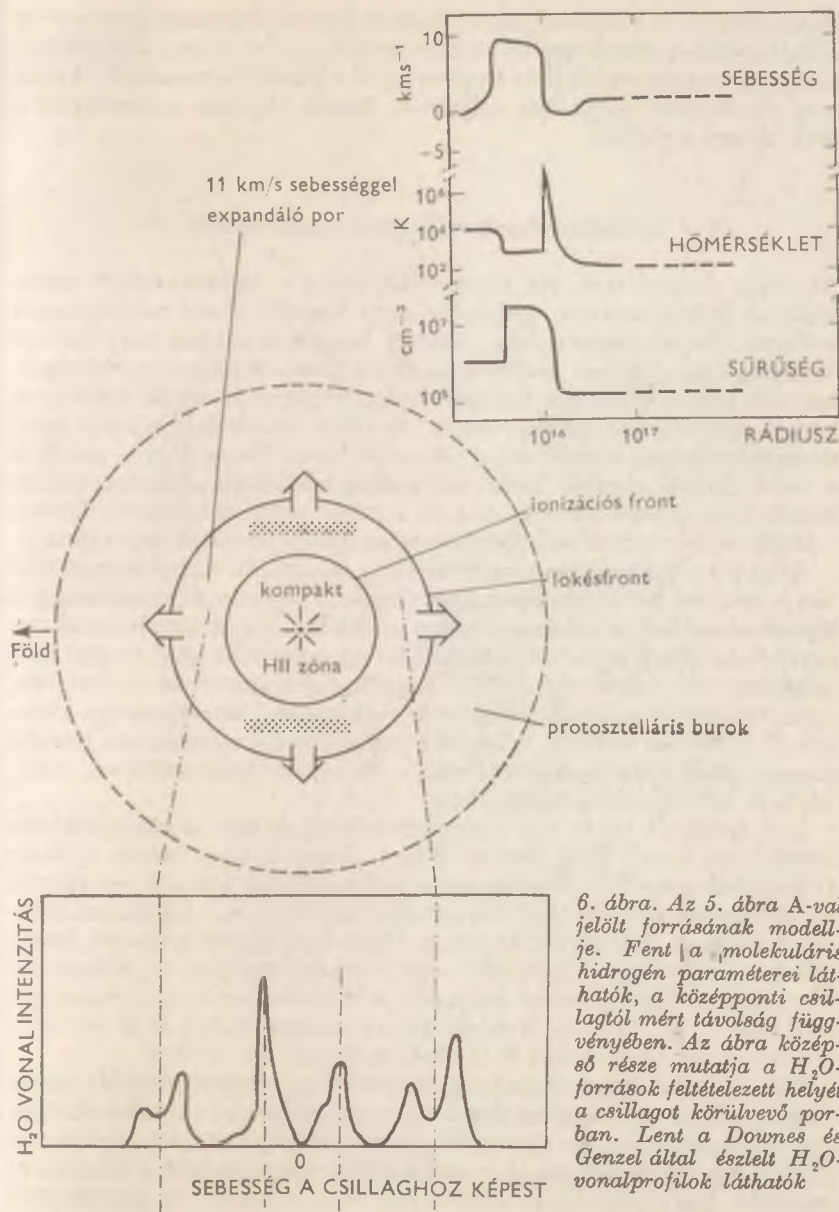
A hidroxil-mézerek a csillagkeletkezés későbbi fázisában jelenhetnek meg, mint a vízgőzmézerek: Mire a kompakt H II terület „láthatóvá” válik, addigra a csillag ultraibolya sugárzása már elbontja a vízmolekulákat — részben OH-gyökökre. Így a hidroxil-mézer-emisszió feltétele még egy ideig megmarad.

A vízgőzmézerek többnyire csoportosan, ún. aktivitási centrumokban találhatóak. Újabban felfedezték, hogy egy-egy aktivitási centrum különálló forrásai szimultán változnak, tehát közös sugárzási pumpájuk lehet — valószínűleg egy már kialakult (változó) csillag.

Az 5. ábrán az Orionban, a Kleinmann—Low-ködben levő vízgőzmézerek és infravörös források eloszlása látható. Az A-val jelölt forrás kivételével ezek térbelileg nem esnek egybe. Az A forrás modellje, amely

5. ábra. A Kleinmann—Low-köd az Orionban; a kontúrok a $21\ \mu\text{m}$ -es sugárzás azonos intenzitású vonalait jelzik, a vonalkázott részek a kompakt infravörös források, a pontok a H_2O -mézerek, a szaggatott vonalak az aktivitási centrumok körvonalait jelzik, a keresztek nagy sebességű H_2O -vonalak, mellettük a szám a sebesség km/s-ban





6. ábra. Az 5. ábra A-val jelölt forrásának modellje. Fent a molekuláris hidrogén paraméterei láthatók, a középponti csillagtól mért távolság függvényében. Az ábra középső része mutatja a H_2O -források feltételezett helyét a csillagot körülvevő porban. Lent a Downes és Genzel által észlelt H_2O -vonalprofilok láthatók

Downestól és R. Genzel-től származik, a 6. ábrán látható. Szerintük a H_2O -méзер-emisszió egy 10 naptömegnél nagyobb csillag körüli forró, sűrű, táguló porrétegből jön. A csillag körül kialakult kompakt H II zóna még olyan kicsi, hogy nem észlelhető. Ennek tágulása eredményezi a sűrű réteget a porban.

Csillagkeletkezés óriás molekulafelhőkben

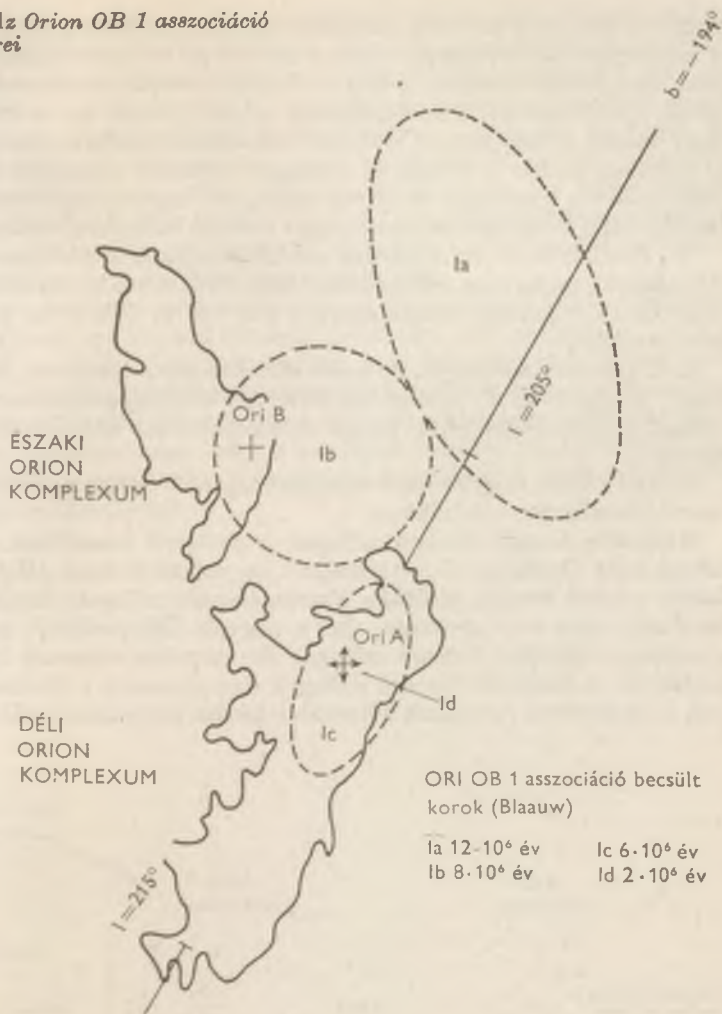
Az eddig elmondottak azt bizonyítják, hogy a molekulafelhők *szélén* csillagok keletkezhetnek, mégpedig nagy tömegű, korai színképtípusú csillagok. De lehetséges-e, hogy a felhők *közepén* is vannak nagy tömegű csillagok, csak még nem vettük észre őket? Erre a felhő infravörös sugárzásának mérése adhatna választ. Egész felhőkre kiterjedő infravörös vizsgálatok azonban még nincsenek. Az Orion molekulafelhőjének szén-monoxid-térképén viszont sehol nincsenek olyan fényes foltok, amelyek a felhő mélyén elrejtett korai csillagokra utalnának. *Törvénytyszerűnek látszik, hogy a nagy tömegű csillagok a felhők szélén keletkeznek.* Ezt támasztja alá az óriás molekulafelhők és az OB-asszociációk kapcsolata is.

Blaauw megállapítása szerint az OB-asszociációk a Nap környezetében különböző korú alrendszeréből állnak. A legöregebb alrendszerek a legszétszórtabbak, a legkevesebb intersztelláris anyagot tartalmazzák; az egyre fiatalabbak egyre kompaktabbak, és egyre több gázt és port tartalmaznak. Az óriás molekulafelhő a legfiatalabb alrendszer mellett van, amelyhez (az O csillagok jelenléte következtében) általában egy kiterjedt H II felhő is tartozik. A felhőben pedig, közel a széléhez, ott látható az asszociáció következő alrendszere — kompakt H II területek, infravörös és méзерforrások formájában.

A 7. ábrán az Orion OB 1 négy alrendszere és szén-monoxid-térképe látható. Az Ic-vel jelölt rész az ismert Trapéz-halmaz, amely a Nagy Orion-ködöt gerjeszti. Mögötte van a molekulafelhő, s benne egy nagyon sűrű rétegben az Id-vel jelölt Kleinmann-Low-Becklin-Neugebauer infravörös forrás. A H II terület (maga az Orion-köd) tágulása közben lassan halad a molekulafelhő belsejébe — mint valami dugattyú — „elfogyasztva” a felhőnek az útjába eső szakaszát. A H II zónának ez a „dugattyú” modellje F. P. Israel-től származik, és minden ismert H II területre alkalmazható. (A kompakt H II zónákra is, lásd a 6. ábrát.)

Milyen mechanizmusok hozhatnak létre ilyen elrendeződést? Mi indítja meg a csillagkeletkezést az óriás molekulafelhőkben? A felhő spontán gravitációs kollapszusa bizonyára nem, mert akkor a csillagkeletkezés a felhő *közepén* kezdődne. A molekulafelhő szélén születő csillagok azt sugallják, hogy *külső hatásra* indul meg ez a folyamat; az alrendszerek létezése pedig azt, hogy ha egyszer már elkezdődött, akkor szinte futó-

7. ábra. Az Orion OB 1 asszociáció
alrendszerei



tűzként terjed keresztül a felhőn. A megfigyelt felhőméretek és az alrendszerek koreloszlása azt mutatja, hogy egy felhőben kb. $3 \cdot 10^8$ évig keletkeznek csillagok. Ennyi idő alatt fogy el a felhő anyaga. Egy-egy csillagkeletkezési periódus kb. 10^5 évig tart; az alrendszerek átlagos korkülönbsége 10^6 – 10^7 év.

A sűrűséghullám, amely fenntartja a Galaxis spirálszerkezetét, létre-

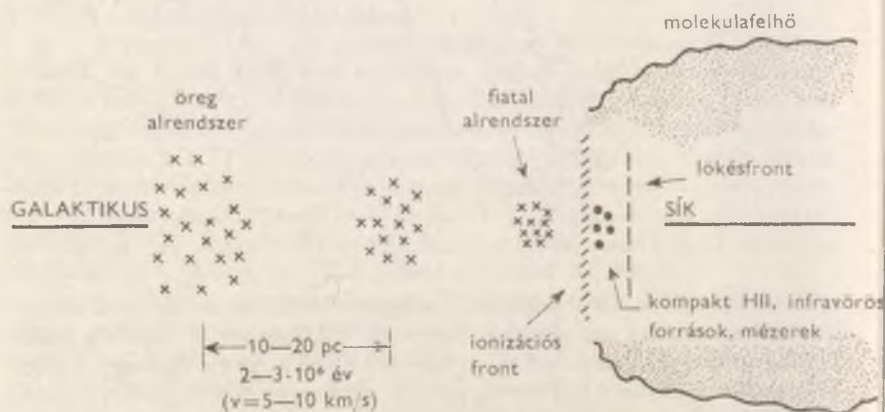
hozhat a molekulafelhőkben a csillagkeletkezéshez szükséges feltételeket. A sűrűséghullám a Galaxis síkjában kb. $3 \cdot 10^8$ év alatt jár körbe; így nem lehet felelős a néhány millió év korkülönbségű alrendszerek sorozatának létrehozásáért. Természetesnek látszik viszont az az elképzelés, hogy *maguk a nagy tömegű csillagok indukálnak további csillagkeletkezést a felhőben*. Ennek a sorozatos, önmagát terjesztő csillagkeletkezésnek több módja is lehetséges. A lényeg mindig az, hogy a felhőt összenyomó lökés a felhő szélén elhelyezkedő, nagy tömegű csillagoktól származik.

W. Herbst és G. E. Assousa modelljében az öregebb alrendszerben lejátszódott *szupernóva-robbanás* kelt lökeshullámot a molekulafelhőben. Elméletüket sikeresen alkalmazták a Cep OB 3, CMa R 1, Per OB 2 asszociációkra.

B. G. Elmegreen és C. J. Lada elmélete szerint maga a „dugattyúként” viselkedő H II terület hoz létre egy sűrű, gravitációsan instabil réteget a molekulafelhőben. Ennek az elképzelésnek vázlata látható a 8. ábrán.

Ezekén kívül a nagy tömegű csillagokból „fújó” *csillagszelek* is kelthetnek lökeshullámot a felhőkben.

Mindeddig a nagy tömegű csillagok születéséről beszéltünk. „Nagy” tömeg alatt általában 10 naptömegnél nagyobbat értenek. *Hol keletkezhetnek a kisebb tömegű, például a Naphoz hasonló csillagok?* Általában feltételezik, hogy nem ugyanott, ahol a nagyok. Elképzelhető, hogy a lényegesen különböző tömegű csillagok létrejöttéhez más-más környezet szükséges. A fiatal, kis tömegű csillagok csoportjainak, a T-asszociációknak vizsgálatával juthatunk közelebb e kérdés megválaszolásához.



8. ábra. Ionizációs front által indukált csillagkeletkezés sematikus rajza

Az észlelések azt látszanak igazolni, hogy kis tömegű csillagok keletkezhetnek *mélyen a felhők belsejében* is. Az óriás molekulafelhő-komplexum belsejében az egyes felhők gyakran ütközhetnek egymással, s felszínük közelében is kialakulhatnak a csillagkeletkezéshez — becslések szerint éppen a *kis tömegű* csillagok kialakulásához — kedvező feltételek. Kis tömegű csillagok születhetnek ezen kívül kisebb, izolált, nem óriás felhőkomplexumhoz tartozó molekulafelhőkben is. Az eddig tárgyalt óriás molekulafelhőkön kívül vannak a Galaxisban néhány parszek átmérőjű, néhány száz naptömegnyi kis felhők is. Sok esetben a T-asszociációk éppen ilyen kis felhőhöz kapcsolódnak.

Összefoglalásként azt mondhatjuk: az óriás molekulafelhők észlelésével a csillagászok egy lépéssel közelebb jutottak a csillagkeletkezés megértéséhez. A megfigyelések sok esetben még túl hiányosak ahhoz, hogy mélyebb következtetéseket vonhassunk le belőlük. De — mert az interstelláris molekulák kutatása ma a csillagászatnak igen „divatos” ága — biztosak lehetünk benne, hogy a közeljövő észlelései lehetővé teszik saját Galaxisunk, valamint a szomszédos Androméda-köd és Magellán-felhők teljesebb megismerését.

A VILÁG SZERKEZETI ÁLLANDÓI

A csillagászat és a fizika — jóllehet a legutóbbi 2000 évben önálló tudományként fejlődött — igen bensőséges kapcsolatban maradt egymással. (Erre jó példa, hogy az általános relativitáselmélet elméleti része az elméleti fizikához tartozik, kísérleti oldala azonban a fizikában alig létezik, az adatokat inkább a megfigyelő csillagászat szolgáltatja. Másrészt például a csillagok belső szerkezetének vizsgálata nyilván a csillagászathoz tartozik, de csak fizikai módszerekkel végezhető.) E bensőséges kapcsolat miatt az *Univerzum jobb megértését várhatjuk, ha egyszerre sikerül azt a fizika és a csillagászat szempontjából vizsgáljunk.* Sok égi objektumban a feltételek annyira különböznek a megszokottaktól, hogy a részecske- és magfizika speciális területeihez kell fordulnunk, ugyanakkor ezek az objektumok olyan körülmények közt „ellenőrzik” a fizikai elméleteket, amelyeket nehéz volna megteremtenünk. Röviden: ha mindent értünk, amit az égen látunk, akkor (valószínűleg) minden rendben van, de ha valami olyat látunk, amit nem értünk, akkor az sugallhat valami újat a fizikának is.

Természetesen nem egyszerű egy ilyen kombinált csillagászati és fizikai programot végrehajtani. Minél különösebb objektumokat vizsgálunk, annál kevésbé törődhetünk a *részletekkel*. (E cikk terjedelme nem is teszi lehetővé, hogy a felhasznált elméletek részleteibe bocsátkozzunk.) Ez azonban a kitűzött cél — egy általános kép kialakítása — szempontjából nem lényeges, sőt sok területen (nagy sűrűségek magfizikája, erős kölcsönhatás elmélete, kvarkfizika) még nem is volna lehetséges. Így e cikk kijelentései csak (valószínűleg) *egységnyi nagyságrendű* szorzófaktorok erejéig lesznek igazak, ez áron azonban az összefüggések igen egyszerűkké válnak, sőt talán még a jelenlegi elméletek érvényességí határain túlra is pillantást tudunk vetni.

Röviden előrebocsátva azt, amit majd értelmeznünk kell: tudjuk, hogy a *kozmoszban megfigyelt objektumok méret, tömeg, hőmérséklet, fényesség, kémiai összetétel tekintetében nem véletlenszerűen oszlanak el.* Az egyik legfeltűnőbb szabályosság abban áll, hogy a látható anyag túlnyomó



1. ábra. Az $M(R)$ empirikus tömeg — méret összefüggés atomtól galaxis-halmazig

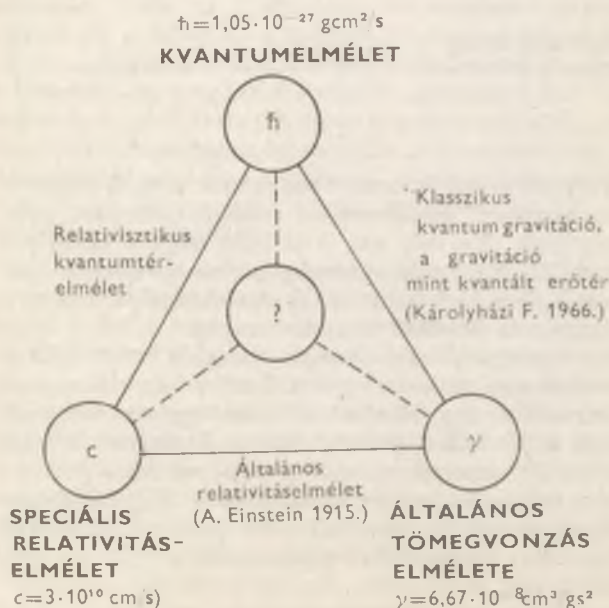
része közel egyforma tömegű csillagok formájában jelenik meg. E csillagok egymásra épülő „hierarchikus” rendszerekbe: csillaghalmazokba, galaxishalmazokba tömörülnek. Ma már azt is tudjuk, hogy e szabályos szerveződés a kb. ezerbillió (10^{15}) csillagtömegű galaxishalmazoknál véget ér. E „felett” már csak igen jó közelítéssel *egyöntetű tágulást* mutat a majdnem teljesen egyenletes eloszlású kozmikus anyag.

Ha az atomoktól a legnagyobb szabályos rendszerekig áttekintjük a különféle objektumok tömeg- és méretértékeit, azt találjuk, hogy az M tömeg és az R méret közt egy felismerhető összefüggés van. Ennek erősen leegyszerűsített képét láthatjuk az 1. ábrán. A diagram két jól elkülöníthető sávra bomlik, amelyeknek csúcspontjai az előbb említett csillagtömeg (M_*) és a maximális galaxishalmaz-tömeg ($M_•$) körül vannak. Kísérreljük meg mindenekeelőtt az elkülönülő sávok, és az azokat lezáró kitüntetett kozmikus tömegértékek értelmezését!

A kis számok törvénye

Alapvető állandók

A mai fizikában három olyan elmélet van, melynek érvényessége mindenre kiterjedőnek látszik: az általános tömegvonzás elmélete, a speciális relativitáselmélet és a kvantumelmélet. Mindhárom elmélet tartalmaz egy-egy, csak őreá jellemző állandót (nevezetesen a γ -t, a c -t és a h -t)*. Mivel úgy tudjuk, hogy mindhárom elmélet általános érvényű, *egyszerre* kellene alkalmazni őket, vagyis egyetlen *egyesített* elméletre volna szükség, de ezt még nem sikerült megalkotni, bár elméleteink páronként könnyen egyesíthetők, mint az a 2. ábrán sematikusan látható. Az, hogy a három alapvető elmélet egyesítése még nem sikerült, felkeltette a gyanút, hogy valamelyik — vagy akár mindhárom is — módosítandó. De ha így lenne is: h , γ és c létezése és értéke kísérletileg igazolt tény! Próbáljunk tehát valamilyen következtetésre jutni segítségükkel. E három állandóból képezhetünk pl. egy-egy hossz-, idő- és tömegegységet (ezek az ún. Planck-egységek), és így valamilyen értelemben megkapjuk a ter-



2. ábra. Az alapvető fizikai elméletek viszonya

* Nyomdatechnikai okokból a szövegben „ h -vonás” = $h/2\pi$ helyett mindenütt h áll, s ezért Olvasóink szíves megértését kérjük (A szerk.)

*mészetes fizikai skálákat.** Az 1/a. táblázatból látható azonban, hogy az elemi részek fizikájában megszokottakhoz képest a hossz- és időegység *túl kicsi*, a tömeg egység viszont *túl nagy*. Ez furcsa, de az oka nyilván az, hogy az elemi részecskékre a gravitáció elhanyagolható.

Általában h , γ és c minden fizikai képletben meg kellene jelenjen, gyakran azonban egy-egy folyamatban a tömegvonzás vagy a kvantumosság elhanyagolható, esetleg a sebességek kicsik, és ilyenkor (első közelítésben) a megfelelő állandó nem lép fel.

Csatolási állandók és visszavezetésük h , γ , c -re

A kölcsönhatások elméletei tartalmaznak további (ún. csatolási) állandókat is, melyek a kölcsönhatás *erősségét* adják meg. Így például két elektron közt az erő nagysága

$$F = e^2/r^2 \quad (1)$$

ahol e^2 az elektron töltésének négyzete $2,57 \cdot 10^{-38} \text{ C}^2 = (2,31 \cdot 10^{-19} \text{ gcm}^3/\text{s}^2)$.

Egy olyan fizikai rendszerben, ami elektronokat, protonokat, egyéb töltött elemi részeket tartalmaz (akár kvarkokat is $e/3$ és $2e/3$ töltéssel), a kölcsönhatás eredményének kiszámolásakor nyilván fellép az e^2 , mutatva ezzel, hogy *milyen erősen csatolja össze* a részecskéket az elektromágneses kölcsönhatás.

Egyelőre fogalmunk sincs, miért annyi e^2 értéke, amennyi, ugyanis nincsen elméletünk, amely visszavezetné az elektromágneses kölcsönhatást valami *alapvetőbbre*, és megmagyarázná, miért azok a létező részecskék, amelyeket ismerünk. De feltételezhetjük, hogy van ilyen magyarázat, csak mi még nem ismerjük. Ha e magyarázó elmélet nem megy túl a ma ismert három alapvető elméleten (illetve valamilyen módosított formájukon), akkor — jöllehet ma még semmit sem tudunk róla — a magyarázat végeredménye egy képlet lesz:

$$e^2 = e^2(h, \gamma, c) \quad (2)$$

A képlet alakja persze egyelőre ismeretlen, tartalmazhat számokat (mint pl. 2 vagy π), határozott integrálok vagy végtelen sorok összegének

* A továbbiakban jelentős szerephez jut a *dimenzióanalízis*, ami (akár a fenti esetben) azt jelenti, hogy az alapegységek kombinációját úgy választjuk meg, hogy az kiadja a keresett mennyiség dimenzióját, s így ennek alapján (állandó szorzófaktoroktól eltekintve) következtethetünk a szóban forgó mennyiséget leíró fizikai képlet *alakjára* is. A dimenzióanalízis során CGS-egységeket használunk majd. (A szerk.)

A fontosabb fizikai állandók*

Jel	név	érték
Alapvető állandók		
$\hbar$	hatáskvantum	$1,0545 \cdot 10^{-27} \text{ gcm}^2/\text{s}$
γ	gravitációs állandó	$6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gs}^2$
c	fénysebesség	$2,998 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$
Planck-mennyiségek		
$\lambda_{\text{Pl}} =$	$\sqrt{\hbar\gamma/c^3}$ Planck-hossz	$1,615 \cdot 10^{-33} \text{ cm}$
$\tau_{\text{Pl}} =$	$\sqrt{\hbar\gamma/c^5}$ Planck-idő	$5,389 \cdot 10^{-44} \text{ s}$
$\mu_{\text{Pl}} =$	$\sqrt{\hbar c/\gamma}$ Planck-tömeg	$2,177 \cdot 10^{-6} \text{ g}$
Jellemző részecskefizikai skálaparaméterek		
$\hbar/m_{\pi} c$	erős kölcsönhatás hatótávolsága	$1,46 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$
$\hbar/\Gamma_{\Delta}$	Δ rezonancia élettartama	$7,05 \cdot 10^{-24} \text{ s}$
m_p	protontömeg	$1,672 \cdot 10^{-24} \text{ g}$

A fontosabb fizikai állandók*

Jel	név	érték
Csatolási állandók		
e^2	elektromágneses	$2,31 \cdot 10^{-19} \text{ gcm}^3/\text{s}^2$
g_1	erős(ek)	$(1-30) \cdot 10^{-17} \text{ gcm}^3/\text{s}^2$
Dimenziótlán kombinációk		
$\alpha =$	$e^2/\hbar c$ finomszerkezeti állandó	$0,00730 = 1/137,02$
$\alpha_g =$	$\gamma m_p^2/\hbar c$ „gravitációs” finomszerkezeti állandó	$0,3-10$
α_v	$\gamma m_v^2/\hbar c$	$5,88 \cdot 10^{-39}$ m_v -től függ

* CGS egységekben megadva

értékét (ami megint szám), és így tovább*. Mivel h , γ és c segítségével csak egyetlen e^3 dimenziójú mennyiség alkotható, azt kapjuk, hogy:

$$e^3 = \text{„szám”} \cdot hc \quad (3)$$

A „szám”-ot majd az ismeretlen elmélet határozza meg, de (ld. lábjegyzet) beláttuk, hogy „sem túl nagy, sem túl kicsiny” nem lehet! A mérések szerint a (3)-ban szereplő dimenziótlan „szám” (az ún. finomszerkezeti állandó) értéke $1/137,02$, ami tényleg „sem túl nagy, sem túl kicsi”: ismerünk jól levezetett fizikai képleteket $10^{\pm 2}$ körüli nagyságrendű szorzófaktorokkal.

Eredményünk tehát az, hogy nem reménytelen várni egy elméletre, amely az elemi részecskék töltését a három alapvető elmélet segítségével levezeti, sőt ez esetben a tömegvonzásnak (γ -nak) nem is lenne szerepe.

Még két fontos kölcsönhatásunk volna: a gyenge és az erős (utóbbi nem teljesen egységes), de a gyengét a hetvenes évek elején sikerült egyesíteni az elektromágnesessel, így csatolási állandója sem független e^2 -től. Az erős kölcsönhatásban mindenfajta mezon cseréjéhez saját g_1 csatolási állandó tartozik:

$$g_1 = \text{„szám”} \cdot hc, \quad (3')$$

ahol a „szám” $0,3$ és 10 közé esik, tehát ez is olyan, hogy „sem túl nagy, sem túl kicsi”! A fentiekhez hasonlóan érvelhetünk az erős kölcsönhatás csatolási állandóival kapcsolatban is: amíg ez elméletek nincsenek meg, egyszerűen „megfelelkezünk” e^2 -ről és g_1 -ről, mivel h és c helyettesítheti őket (ld. 1/b. táblázatot).

Az elemi részecskék tömege és kapcsolatuk a fundamentális állandókkal

Más a helyzet a részecsketömegekkel. Csak a jól ismert részecskék száma is több tucat, s mindnek *egyedi tömege* van. Az utóbbi években már itt-ott sejthető némi szabályosság a rokon részecskék tömegei közt, de a tömegértékek jó része teljesen megmagyarázhatatlan, és sajnos belátható, hogy az alapvető állandókra való visszavezethetőség esélyei itt rosszabbak, mint e^2 -nél. Nevezetesen: a részecskék tömegét (dimenzióanalízissel) a Planck-tömegben keresztül vezethetnénk vissza h , γ , c -re:

* Az azonban teljesen valószínűtlen, hogy ez elmélet olyan képletet adjon, amelyben pl. egy 10^{11} nagyságrendű dimenziótlan szám jelenne meg. Egyszerű és alapvető elméletekben ekkora számra eddig nem volt példa, és nyilván ezután sem várható ilyen. Így azt várjuk, hogy (2)-ben csak ésszerű nagyságú (1-től „nem túl különböző”) számok jelennek meg.

$$m = \text{„szám”} \cdot \mu_{\text{pl}} = \text{„szám”} \cdot \sqrt{hc/\gamma} \quad (3'')$$

de a részecske-tömegek jó része valahol a Planck-tömeg 10^{-20} -szorosa körül van, és egy ilyen nagyságrendű „szám”-ot nem várhatunk egy képletben. Talán e szám kicsinysége összefügg a három alapvető elmélet egyesítésének nehézségével, vagy talán azt jelzi, hogy ezek mellett — vagy mögött — egy további alapvető elmélet is van, és az tartalmaz egy alkalmas állandót. Dirac arra következtet, hogy esetleg a tömegvonzás elméletét nem ismerjük pontosan. E dilemmát most nem tudjuk eldönteni, de nem is kell: *ha az elemi részecskék tömegeit nem tudjuk h , γ és c segítségével kifejezni, a mérésekből kell őket venniük.*

A részecskék közt a stabiloknak nyilván kitüntetett szerepük van: főként ezek építik föl az égi objektumokat. A nem nulla tömegű részecskék csak akkor stabilok, ha bomlásukat valamilyen megmaradási tétel tiltja. (Azaz, hogy ha egy-egy részecskecsalád legkönnyebb tagjai.) A teljesen ismeretlen részecskecsaládokkal persze nem törődve a 2. táblázat mutatja a jelenlegi helyzetet.

A problematikus pont a *neutrínótömeg*. Az elektronneutrínó tömege, nagy gyakorlati nehézségek árán, β -bomlásban mérhető. Az elmúlt évig mindig csak felső korlát adódott, és általánosan elfogadták, hogy $m_\nu = 0$. 1980-ban azután egy minden eddiginél pontosabb mérésben $31 \pm 6 \text{ eV}/c^2$ adódott (azaz 95%-os megbízhatósággal $> 16 \text{ eV}/c^2$)*. E kézirat leadásakor a kérdés nem tekinthető lezártnak, két okból. Először: a mérés rendkívül nehéz, igen kis energiakülönbségek méréséről van szó, így sok a hibaforrás, tehát a kísérleteket még néhányszor meg kell ismételni. Másodszor: a nagy neutrínótömeg az Univerzum tömegét növeli, így a forró Univerzum szokásos elméletében az időskála túl rövid volna.**

E pillanatban nehéz volna m_ν ügyében dönteni, tartsuk észben a problémát, és menjünk tovább!

A protontömegből ($m_2 = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$, a mérések szerint) a finomszerkezeti állandó (ld. 1/b táblázat) mintájára alkothatunk egy dimenziótlan mennyiséget:

$$\alpha_g = \frac{\gamma m_p^2}{hc} = \frac{m_p^2}{\mu_p} = 5,88 \cdot 10^{-39} \quad (4)$$

E „gravitációs finomszerkezeti állandó” rendkívül kicsi, mert a részecske-tömegeknek a (túl nagy) Planck-tömeg segítségével kifejezett értékei igen kicsik!

* SI-egységekben kifejezve: $(5,5 \pm 1) \cdot 10^{-32} \text{ g}$, illetve $> 2 \cdot 10^{-32} \text{ g}$.

** V. ö. Kiss D.: „Van-e a neutrínónak tömege?” Fizikai Szemle, 1980/8, 299—301.

A stabil részecskék tömege

Megmaradási törvény	stabil részecske	
	neve	tömege [MeV/c ²]*
töltés	e elektron	0,511
leptonszám**	ν_e	$\sim 5 \cdot 10^{-5}$
	ν_μ	$\sim 3 \cdot 10^{-5}$
	ν_τ	$\sim 3 \cdot 10^{-5}$ vagy $\geq 10^3$
barionszám	p proton	936

* $1 \text{ MeV}/c^2 = 1,782 \cdot 10^{-27} \text{ g}$.

** fajtánként, de a kozmológia szerint nem több 7 fajtánál

Egyensúly

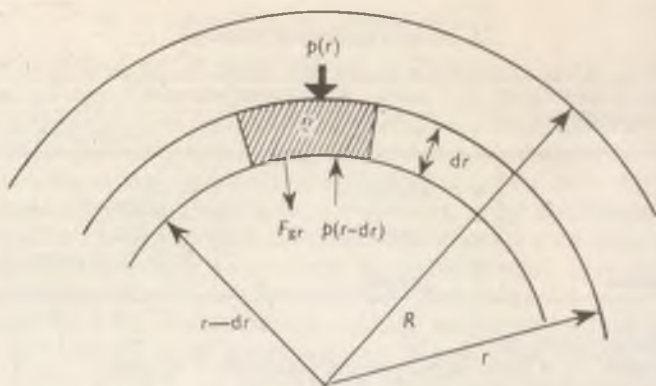
A megfigyelhető égi objektumok döntő többségének nyilván *egyensúlyban* kell lennie. Amennyire a csillagfejlődést értjük, a csillag élete túlnyomó részében csak igen lassan változik, és valószínűtlen, hogy éppen most legyen egy rövid, viharos szakaszban. Egyensúlyra szorítkozva, és elhanyagolva a rotációt (ami a nagyon lapult objektumok hiánya miatt kézenfekvő, s egyébként az ilyenek amúgy sem lehetnének nagyon stabilak), két erő tart egyensúlyt: a nyomásgradiens és a gravitáció. Nevezetesen egy, a centrumtól r távolságra levő, egységnyi alapú, dr magasságú hasábra (3. ábra):

$$p(r) - p(r+dr) + F_{\text{gr}} dr = 0$$

Itt p a nyomás, ρ a sűrűség, és F_{gr} a gravitációs erő egységnyi tömegre (feltesszük, hogy ez még klasszikusan számolható). Elvégezve a $dr \rightarrow 0$ határátmenetet, kapjuk a jól ismert hidrosztatikus egyensúlyi egyenletet:

$$\frac{dp}{dr} = -\gamma \frac{M(r) \rho}{r^2} \quad (5)$$

ahol $M(r)$ az r sugáron belüli tömeg. Ez egy integro-differenciálegyenlet, s ha van egy $p = p(\rho)$ állapotegyenletünk is (hideg anyagra ilyen létezik), akkor minden választott ρ_0 centrális sűrűség mellett (5) kiintegrálható, és ez a megoldás megadja objektumunkat. A következőkben arra törekszünk, hogy M -et kifejezzük ρ segítségével, azaz megállapítjuk az (M, ρ) összefüggés alakját!



3. ábra. Egyensúlyi helyzet egy csillagban

Hideg csillagok (fehér törpék, neutroncsillagok)

Most levezetünk egy érdekes formulát. Tekintsünk valamilyen *hideg*, egykomponensű anyagot, egyetlen jellemző m részecsketömeggel. Mivel hideg, egykomponensű anyagra minden lokális adat egy változóval kifejezhető (legyen ez a ρ sűrűség), az egyensúlyi tömeg:

$$M = M(\rho_c) = M(\gamma, h, c, m, \rho_c) \quad (6)$$

Az $M(\rho_c)$ görbén lehetnek *kitüntetett tömegek* (pl. helyi maximumok értékei). Ezeket úgy kaphatjuk meg, hogy a

$$\frac{dM(\rho_c)}{d\rho_c} = 0 \quad (7)$$

szélsőérték-egyenletet ρ_c -re megoldjuk. Így a görbén a *kitüntetett* M_0 *tömegek csak a négy állandótól függhetnek*. Mivel M_0/m dimenziótlan szám, így csak γ , h , c és m dimenziótlan kombinációjaként jöhet létre. Egyetlen funkcionálisan független ilyen kombináció van: éppen a (4)-ben felírthoz hasonló α_g . Ezért az $M(\rho)$ görbe kitüntetett pontján:

$$M_0 = mf(\alpha_g) = mN_0, \quad (8)$$

ahol f egy tetszőleges függvény. Ez látszólag még semmitmondó eredmény, mivel f még ismeretlen: N_0 akármekkora lehet*. Más azonban a helyzet, ha ki tudjuk találni az f függvény alakját!

Ehhez meg kellene oldanunk az (5) egyenletet, de ez bonyolult volna, és amúgy is csak az egység körüli szorzók erejéig érvényes képleteket keresünk! Így közelítésképpen (5)-ben $M(r)$ és r helyébe a teljes gömb adatait (M, R), ϱ helyébe az átlagsűrűséget $\bar{\varrho}$, és p helybe az átlagos ϱ -hoz tartozó $p(\bar{\varrho})$ nyomást írva, továbbá felhasználva, hogy $M \sim \bar{\varrho} R^3$, valamint elhagyva a számfaktorokat, és mindezek mellett feltéve, hogy az átlagolás nem okozott jelentős hibát, azt kapjuk, hogy**:

$$p(\bar{\varrho}) \sim \gamma M^{2/3} \bar{\varrho}^{4/3}$$

Végül γ értékét (4)-ből véve:

$$M \sim \alpha^{-3/2} \left(\frac{m_p^2}{\hbar c} \right)^{3/2} \cdot \frac{p(\bar{\varrho})^{3/2}}{\bar{\varrho}^2} \quad (5')$$

Mivel $p(\bar{\varrho})$ az anyag lokális viselkedésére jellemző, benne γ nem jelenhet meg (a gravitációs hatás kis térfogatelemek közt mindig elhanyagolható), így (5') és (8) összehasonlításából az objektumot felépítő részecskék száma:

$$N_0 = f(\alpha_g) = \alpha_g^{-3/2} = 2,22 \cdot 10^{57} \quad (9)$$

Figyelembe véve, hogy (protonokra, neutronokra) $m = m_p (\approx m_n) = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{g}$:

$$M_0 = 3,71 \cdot 10^{33} \text{ g} \approx 1,86 M_{\text{Nap}} \quad (9')$$

a kitüntetett tömeg értékére a nukleonokból (protonok, neutronok) álló égi objektumok esetében — anélkül, hogy belső szerkezetükről bármi részletet feltettünk volna. Tapasztalat szerint M_0 valóban jellemző tömeg

* N_0 tulajdonképpen azt fejezi ki, hogy hány db, egyenként m tömegű részecskékből áll az objektumunk.

** Az (5) egyenletet két erő egyensúlyából kaptuk. Azonban fizikailag nyilvánvaló, hogy az egyensúlyi alakzat egyben minimális energiájú is, így az *összeenergiát minimalizálva is ugyanaz kell adódjék*. A homogén közelítésben végigszámolva az anyag energiasűrűségére valóban

$$\varepsilon \cong \gamma M^{2/3} \bar{\varrho}^{4/3}$$

adódik. Ez ugyanaz, mint a $p(\bar{\varrho})$ -ra vonatkozó egyenlet, mert általában $p \cong \varepsilon$. Mivel azonban mindent csak faktorok erejéig számoltunk, ez azt jelenti, hogy a térfogati és a gravitációs energia azonos nagyságrendű. Így a lentebbi (5') nemcsak egyensúlyban, hanem annak közelében is igaz lesz.

a „hideg” objektumokra: fehér törpékre és neutroncsillagokra. (Meglepőnek tűnhet, hogy a *meleg* csillagokra is jellemző — melyekre nincs $p(\varrho)$ alakú állapotegyenlet —, de látjuk majd, hogy ez sem véletlen.)

Említettük, hogy M_0 csak az $M(\varrho)$ görbe valamely kitüntetett pontjához tartozik, de a *teljes görbét* is megkaphatjuk (5')-ből, ha kiszámítjuk a $p(\varrho)$ állapotegyenletet. Normális anyagban m_p és m_e lehetnek a jellemző részecsketömegek, s $n = \varrho/m_p$ az egységnyi térfogatban levő részecskék száma. Ésszerű arra gondolni, hogy valamelyik komponens nyomása dominál. Legyen ennek részecsketömege m . Mivel p dimenziója g/cm^2 , h , c , m és n segítségével (γ nem jelenhet meg) csak az alábbi összefüggés ad jó dimenziót:

$$p = \frac{m^4 c^5}{h^3} \varphi(x); \quad x = \left(\frac{h}{m c} \right)^3 n; \quad n = \varrho/m_p \quad (10)$$

ahol $\varphi(x)$ egy dimenziótlan változó dimenziótlan függvénye, és a fizikus feladata csak ennek meghatározása. Két határeset azonban nyilvánvaló.

Ha az anyagban *semmi sem relativisztikus*, akkor a c nem szerepelhet a képletben, de csak akkor esik ki, ha:

$$\varphi(x) = x^{5/3} \rightarrow p = (h^2/m)n^{5/3} \varrho^{5/3} \quad (11)$$

Innen láthatjuk, hogy az elektronok nyomása dominál, azaz $m = m_e$, hiszen $\sim 1/m$ miatt a kisebb tömegű részecske ad nagyobb nyomást.

A másik határeset, amikor a részecskék már *relativisztikusak*. Ekkor m nyugalmi tömegük nem szerepelhet a képletben, így az előbbihez hasonlóan azt kapjuk, hogy:

$$\varphi(x) = x^{4/3} \rightarrow p = (hc)n^{4/3} \varrho^{4/3} \quad (12)^*$$

Az első tartományban $p \sim \varrho^{5/3}$, így (5')-ből $M \sim \sqrt{\varrho}$. A relativisztikus

* Az eredmények közvetlen fizikai oka könnyen látható. A nyomás az egységnyi felületen egységnyi idő alatt átadott impulzus, vagyis, ha $\bar{P}$ az átlagos impulzus és $\bar{v}$ az átlagos sebesség:

$$p = \bar{P}\bar{v} \quad (13)$$

A fermionok $\sim h^3$ nagyságú fáziscellát foglalnak el, vagyis

$$P^3 V = h^3 N \rightarrow \bar{P} = h n^{1/3} \quad (14)$$

Ha a rendszer klasszikus, $\bar{v} = \bar{P}/m$, és (13)-ból (11) adódik, ha relativisztikus, $\bar{v} = c$, és kapjuk (12)-t. Láthatóan $\bar{v}$ n -nel nő, a rendszer először klasszikusan elfajult, azután relativisztikusan.

tartományban $p \sim \varrho^{4/3}$, így (5')-ből $M \sim \varrho^0$, azaz $M = \text{konstans}$. Az utóbbi esetben tehát M -nek *kitüntetett értéke* van, azt pedig már (9')-ben kiszámítottuk, $M = M_0$.

A pontosabb értékeket is megkapjuk, ha (11)-t, illetve (12)-t behelyettesítjük (5')-be:

$$M = \alpha_g^{-2/3} \left(\frac{\hbar m_p^{1/3}}{c m_e} \right)^{3/2} \sqrt{\varrho} \quad (15)$$

illetve:

$$M = M_0 = \alpha_g^{-3/2} m_p \quad (15')$$

Elfajulás

A relativisztikus és nem relativisztikus tartomány határát ott húzzuk meg, ahol a két képlet azonos eredményt ad, azaz ahol

$$\varrho = \varrho_{\text{kr}} = \frac{c^2}{\hbar^3} m_e^3 \cdot m_p = 2,89 \cdot 10^7 \text{ g/cm}^3$$

Elfajulás

A relativisztikus tartomány elején az egy részecskére jutó energia kb. $m_e c^2$. Mikor eléri az $(m_n - m_p) c^2 \cong 2,5 m_e c^2$ értéket, inverz β -bomlás válik lehetségessé:

$$p + e \rightarrow n + \nu$$

és végül tiszta neutronanyagot kapunk. Eleinte ez *klasszikusan elfajult* (a (11) képlet érvényes, de $m_e \rightarrow m_n \cong m_p$).

Később lép fel *relativisztikus* elfajulás. Mivel ekkor már *semmilyen tömeg nem szerepelhet p -ben*, csak $\hbar$, c és ϱ , az egyetlen helyes dimenziójú összefüggés csak

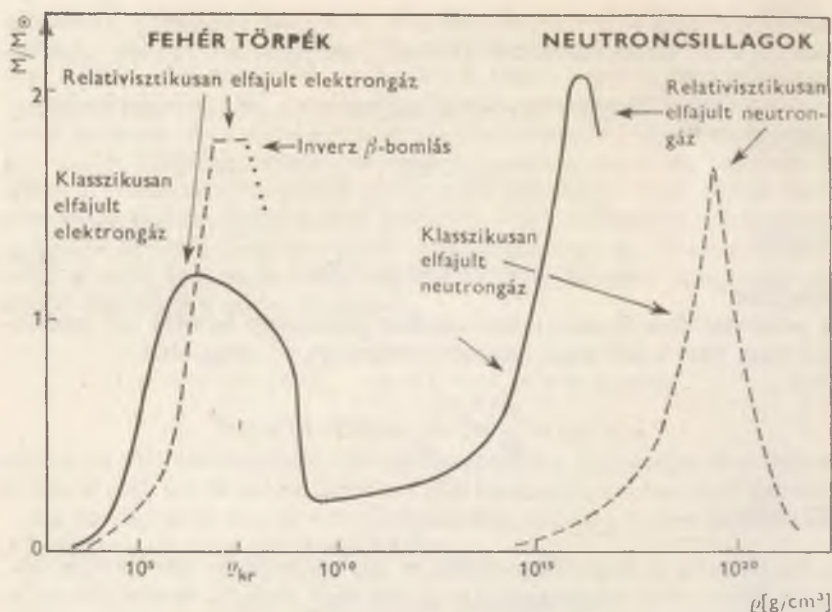
$$p = \varrho c^2 \quad (16)$$

lehet. Ebből azt kapjuk, hogy a klasszikus tartományban megint $M \sim \sqrt{\varrho}$ de a relativisztikusban $M \sim 1/\sqrt{\varrho}$; pontosabban számolva:

$$\text{Klasszikus elfajulás: } M = \alpha_g^{-3/2} \left(\frac{\hbar^3}{m_p^4 c^3} \right)^{1/2} m_p \sqrt{\varrho} \quad (17)$$

$$\text{Relativisztikus elfajulás: } M = \alpha_g^{-3/2} \left(\frac{m_p^2 c}{\hbar} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{\varrho}} \quad (17')$$

(15), (15'), (17), (17')-ből megkaptuk az $M(\varrho)$ görbét. Egyszerű számolásunk eredményét a 4. ábrán vetjük össze a részletes számításokéval (mikor az (5) egyenletet pontosan megoldották). Diagramunkon látha-



4. ábra. Tömeg—sűrűség diagram az itt leírt módszerrel és részletesen számolva

tóan jól megkaptuk a fehér törpékre és a neutroncsillagokra jellemző tömeg-sűrűség értékeket.

A sűrűség nem közvetlenül mérhető adat, ezért ρ helyett R -et véve (mivel klasszikus elfajulásra $M \sim \sqrt{\rho}$), ott:

$$MR^3 = \text{állandó.} \quad (18)$$

Egykomponensű rendszerre a (18) állandó értéke kb. $\hbar^6/\gamma^3 m^8$.

Forró csillagok

A könnyű elemeiket még ki nem merített csillagokban $H \rightarrow He$, $He \rightarrow C$, ... fúzió folyik, ez termeli a kisugározható energiát, miközben magas hőmérsékletet tart fenn. A gáz nyomását most e magas hőmérséklet határozza meg. A fúziót a magok közti Coulomb-taszítás gátolja, s a maximális taszító energia protonok közt:

$$E_0 = \frac{e^2}{r_p} \approx 1 \text{ MeV} \quad (19)$$

A fúzió akkor folyhat, ha kT már összemérhető E_0 -lal. Látjuk majd, hogy $kT \approx E_0$ alaposan *felülbecsli a szükséges hőmérsékletet* (a hőmérsékleti eloszlás nagy energiájú „farka” ugyanis már lényegesen alacsonyabb hőmérsékleten is fenntartja a fúziót), de első közelítésben nem tehetünk mást. A nyomásra azt kapjuk, hogy:

$$p = nkT \approx \frac{\rho}{m_p} E_0 \quad (20)$$

ezt és $\alpha_g = \gamma m p^2 / hc$ -t helyettesítve (5')-be:

$$M = \left(\frac{E_0}{\gamma m_p} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{\rho}} \quad (21)$$

Ha ez az $M < M_0$, a csillag részecskéi alkothatnak forró csillagot is, fehér törpét is. Ha a csillagok összehúzódási folyamatban keletkeznek (mint azt általában hiszik), akkor — mivel (15) kisebb sűrűséget ad, mint (21) — a csillag megáll a „fehér törpe” állapotban, még mielőtt benne a fúzió beindulhatott volna. Az így elvetélt csillag persze nem lett eléggé meleg, így inkább csak infravörös. Megkeresve a kétféle $M(\rho)$ görbe — (15) és (21) — metszéspontját *a még lehetséges minimális csillagtömeg*:

$$M_{\min} = m_p \alpha_g^{-3/2} \left(\frac{E_0}{m_e c^2} \right)^{3/4} = M_0 \left(\frac{E_0}{m_e c^2} \right)^{3/4} \quad (22)$$

E_0 -t az említett módon (felül) becsülve $M_{\min} \approx 1,65 M_0 = 3,1 M_{\text{Nap}}$. Ez nyilván túl nagy, hiszen Napunk is létezik! *Pontosan számolva $M_{\min}$ valahol nem messze a naptömeg alatt van, értékét az $e^2/r_p m_e c^2$ viszony szabja meg. Ez egységhez közeli dimenziótlan szám. Ez az oka, hogy a megfigyelhető csillagok tömege M_0 rendjében van.*

Lényegesen ez alá menve a csillag kialakulása során megáll — mint hideg, elfajult gáz, „fekete törpe” — és nem látható. Lényegesen M_0 fölött a csillag túl rövid ideig „él”, mivel egyrészt a csillagok sugárzó teljesítménye tömegükkel rohamosan nő, és ezért energiatartalékuk hamar kimerül, másrészt a nagy tömegű csillagoknál a belső részekből ki-felé haladó sugárzás nyomása meghaladja a közönséges gáznymást, ami instabilitáshoz és a csillag gyors széteséséhez vezet. A részletesebb számítás mutatja, hogy *a legnagyobb stabil csillagok már nem nélkülözhetik a fénynyomás segítségét, tehát forrónak kell lenniük, és világítaniuk kell a fennmaradáshoz.* Ez is teljes egyezésben van a tapasztalattal.

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a csillagokra szükségszerűnek talál-tuk egy univerzálisan kitüntetett

$$M_0 = \alpha_g^{-3/2} m_p \quad (23)$$

tömegérték létezését, amely nagyságrendileg mindenfajta atomos anyagból előállt csillag tényleges tömegéhez közel van: *a különböző objektumokat nagyságrendileg $\alpha_g^{-3/2}$ db részecske építi fel!* Ugyanakkor a neutroncsillagok és bizonyos óriáscsillagok átmérő — és következésképpen sűrűségei — sok nagyságrenddel eltérnek egymástól. Szemléletesen úgy foghatjuk fel, hogy a különböző csillagfajtákban szélső esetben vagy nukleon a nukleonnal, vagy atom az atommal közelítőleg „összeér” és ezért a csillagok sűrűsége a nukleáris sűrűségtől az atomi sűrűségnél valamivel kisebb átlagos értékig változhat, de részecskeszámuk mindig $\alpha_g^{-3/2}$ körüli!

Fekete lyukak

Hideg csillagokra kaptunk egy *maximális* M_0 tömeget, míg forrókra egy *minimális* érték adódott, nem túl messze M_0 alatt. Felmerül a kérdés: kihűlése után mi a végső sorsa egy M_0 -nál *nagyobb* tömegű, eredetileg forró csillagnak, hiszen hidegen már nem kerülhet egyensúlyi állapotba!

Egy lehetséges válasz az, hogy a végső állapot egy M_0 -nál *kisebb* tömegű *csillagmaradvány*, és a „felesleges” tömeg szétszóródik a végtelenben. Összehúzódás közben energia szabadul fel, és ez ledobhatja a felesleges (a csillag egész tömegével már összemérhető) tömeget. Ez megfelel a megfigyelt *szupernóva-kitöréseknek*.

Energetikailag a folyamat több száz naptömegig lehetséges volna, de a kérdés nem ilyen egyszerű, mert az összehúzódás közben a részecskék impulzusa befelé mutat, és ezt meg kellene fordítani. A részletes (és részecskefizikai finomságoktól erősen függő eredményű) számítások szerint $8-10 M_{\text{nap}}$ felett már nem dobódik le elegendő tömeg, így — mivel egyensúlyi állapot nem jöhet létre — *az összehúzódás vég nélkül folyik*.

A felszíni gravitáció az összehúzódás során nő. A csillag adataiból, γ -ból és c -ből megalkotható a dimenziótlan R/R_g mennyiség, ahol:

$$R_g = \gamma M/c^2 \quad (24)$$

A newtoni elmélet csak $R/R_g \ll 1$ esetén érvényes, az $R/R_g \approx 1$ tartományban az általános relativitáselmélet volna alkalmazandó, de a cikk terjedelme ezt nem teszi lehetővé. A felszíni szökési sebesség a newtoni elméletben $(R/R_g)c^2$ körül van, így $R \approx R_g$ táján már a fény sem távozhat: ez *egy fekete lyuk* határa. Érdekes megjegyezni, hogy (17) és (18) szerint a neutroncsillagok mérete is már e nagyságrendben van!

Mivel a jelzáró felület miatt a lyuk környezetét *csak gravitációsan* befolyásolja, egyetlen megfigyelhető adata $\gamma M = R_g c^2 \approx R c^2$. Érdekes, hogy (γM) , h és c segítségével egy (és csak egy) teljesítmény dimenziójú

$$W = \frac{h c^6}{(\gamma M)^2} \quad (25)$$

mennyiség alkotható, mely úgy interpretálható, mint egy $\sim R_g^2$ felületű, $kT \sim hc^3/\gamma M$ hőmérsékletű fekete test sugárzása. Ez az ún. *Hawking-sugárzás*. $M \sim M_\odot$ -t behelyettesítve W -re $\sim 10^{-10}$ J/s-ot kapunk, tehát mértéke az észlelhetőségtől igen messze van! Létezését egyelőre elméletileg is vitatják, mert a szükséges kvantumtérelméleti számítások tulajdonképpen a három alapvető elmélet egyesítését igényelnék. Elfogadjuk a (25) képletet, egy lyuk élettartama *véges* volna.

Csillagrendszerek

Láttuk, hogy akárhogyan építünk is föl egy összefüggő, stabil objektumot nukleonokból (és elektronokból), az eredő objektum (csillag, bolygó stb.) részecskeszáma $\alpha_g^{-3/2}$ rendjében vagy az alatt lesz. Ha tehát a kozmoszban mégis nagyobb tömegű (nukleonszámú) rendszerek fordulnak elő tartósan kötött állapotban, akkor ezek csak (legfeljebb csillagtömegű) objektumok szabadon mozgó rendszerei, *halmazai* lehetnek, amelyekben az egyes halmaztagok már nem érintkeznek, *csak gravitációs kölcsönhatásuk számottevő*. A halmazelemek alkalmas sebességű mozgása természetesen stabilizálhatja a gravitáló rendszert mint egészet. A tartós szabad mozgáshoz az szükséges, hogy az ilyen rendszer átlagos sűrűsége sok nagyságrenddel az alkotóelemek sűrűsége alatt legyen. Amint azt a 3. táblázat is mutatja, lényegileg négyféle, csillagnál határozottan nagyobb tömegű kötött rendszert látunk. Az elméleti követelménnyel összhangban mindegyik úgy jelenik meg mint a csillagok valamilyen szintű rendszere.

A különböző csillagrendszerek tömegeit belső mozgásaik sebességéből határozzuk meg. Egyszerű körpálya esetén nyilvánvalóan a bolygómozgások leírásánál is használt

$$\bar{v}^2 = \gamma \frac{M}{R}$$

képlettel számolhatunk tömeget. (A képlet úgy is olvasható, hogy a mozgási energia kétszerese egyenlő a gravitációs potenciális energia abszolút értékével. Ez az ún. *viridáltétel*, amely viszont már nem csak egy bolygómozgásra, hanem bármely, időben állandó kötött rendszer mozgására is érvényes.)

A kisebb csillagrendszerek (csillaghalmazok és galaxisok) *dinamikailag számított* tömegeloszlása kielégítően követi a *megfigyelhető fényesség-*

Csillagrendszerek

Név	tömeg
csillaghalmaz (nyílt- és gömbhalmazok)	$10^2 - 10^4 M_\odot$
galaxis (spirális, elliptikus, irreguláris)	$10^9 - 10^{12} M_\odot$
galaxiscsoport (kettős, többszörös galaxisok)	$10^{10} - 10^{11} M_\odot$
galaxishalmaz	$10^{13} - 10^{14} M_\odot$

eloszlást (a csillagok eloszlását), az óriásgalaxisok külső részeitől („halóitól”) kezdve azonban eltérés mutatkozik. Ezekben a halokban alig van látható, fénylő anyag, a közelükben keringő kísérő csillaghalmazok és szomszédos galaxisok gyakran feltűnően nagy sebességei azonban a látható tömegek mennyiségét jóval meghaladó tömegek gravitációs erejétől árulkodnak.

Hasonló, de még feltűnőbb eltérést találunk a galaxishalmazoknál, legfőképpen az óriáshalmazoknál. A mért sebességek itt is túl nagyoknak adódnak: a látott térfogatban a látott tömegeket elhelyezve a halmaz összenergiája erősen pozitívnak tűnik, ami a halmaz gyors szétesését kívánná meg. A galaxishalmaz viszont nem bomlott fel. Ez ismét arra utal, hogy a tömeg jelentős része (a megfigyelések szerint kb. 90%-a) láthatatlan. A halmazokban elhelyezkedő galaxisok látható, belsőbb részeinek tömegeloszlása az adatok szerint aligha térhet el jelentősen a halmazokon kívüli galaxisokéitól. Így a sötét anyag a halmaztagok sötétebb külső részeiben (vagy egyszerűen az egész halmaztérfogatban) folytonosan oszolhat el. Nyilván az utóbbit könnyebb számolni. Ha protonokat diszpergálunk a halmazban, az átlagos energiára, vagyis a hőmérsékletre

$$kT = \bar{E} = \gamma \frac{m_p M}{R} = 100 \text{ keV} \sim 10^9 \text{ K}$$

adódik, s ez megfigyelhető sugárzást bocsátana ki, illetve nyelne el, amit viszont nem tapasztalunk.

Jelen cikk egyik szerzője már 18 évvel ezelőtt felhívta a figyelmet arra, hogy a neutrínók alkalmasak lehetnének a galaxisokat stabilizáló láthatatlan anyag szerepére. (Ezek különben éppen a fentebbi, 2. táblázatból eddig még fel nem használt részecskék.) Később Marx Gy. és Szalay S. rámutatott arra, hogy ez a formális lehetőség akkor lenne igazán ígéretes, ha a neutrínók zérustól különböző nyugalmi tömeggel rendelkeznének, és így nagyobb hajlamot mutatnának a halmazokba való tömörülésre, gravitá-

és csomósodásra. Megjegyzendő, hogy a forró ősuniverzum elmélete szerint a szükséges neutrínók bőségesen jelen vannak a Világegyetemben!*)

A stabilizálásra az lenne a legegyszerűbb lehetőség, hogy a (15') képletet *proton* helyett *neutrínóra* alkalmazzuk, majd az így kapott „neutrínócsillagot” ráhelyezzük a galaxishalmazra. (A nagyságrendileg kisebb össztömegű baryonanyagtól első közelítésben nyilván eltekinthetünk.) Így egy új M_ν maximális karakterisztikus tömeg adódna a *hideg elfajult neutrínókból* felépített objektumra:

$$M_\nu = \alpha_\nu^{-3/2} m_\nu \quad (26)$$

ahol $\alpha_\nu = \gamma m_\nu^2 / \hbar c$ -t megint a finomszerkezeti állandó (1/b. táblázat) mintájára definiáltuk. Ezért:

$$M_\nu = \left(\frac{m_p}{m_\nu} \right) M_0 \quad (26')$$

Ahhoz, hogy így megmagyarázhassuk a legnagyobb galaxishalmazok össztömegét is, amely 15 nagyságrenddel nagyobb M_0 -nál, az kellene hogy

$$\frac{m_p}{m_\nu} \gtrsim 10^{7.5} \quad (27)$$

legyen. (27)-ben a közelítő egyenlőség ugyan éppen megfelelne az 1980-ban publikált laboratóriumi tömegmérésnek, mégis bizonyos, hogy a stabilitás kérdésének megoldása nem ennyire egyszerű.

Amint ugyanis azt a fehér törpéknél és neutroncsillagoknál is láttuk, a *hideg anyagra* érvényes *maximális tömegérték* elérésekor a részecskék éppen *relativisztikussá válnak, vagyis már közelítőleg fénysebességgel mozognak*. Ez a sebesség több mint két nagyságrenddel nagyobb a galaxishalmazokra érvényes szökési sebességnél (~ 1000 km/s), így biztosan nem lehet a halmazt stabilizáló kötött anyag sebessége! Másrészt az is látható, hogy ha a *hideg, elfajult anyagra* érvényes (18) összefüggést a $m_\nu = 10^{-7.5} m_p$ nyugalmi tömegű neutrínóra alkalmazzuk, akkor a *nagy galaxishalmazok méretéhez képest elenyészően kicsinynek* adódna a *stabilizáló neutrínófelhő* mérete (pedig a mérések szerint közelítőleg meg kellene egyezzek a látható galaxishalmaz méretével).

Természetesen megmarad viszont az a lehetőség, hogy a stabilizáló neutrínóobjektumot „*elfűtöttnek*” képzeljük. Ekkor a láthatatlan felhő

* v. ö. Szalay Sándor: „A neutrínótömeg a kozmológiában.” Fizika 1975. 11—32. old. Gondolat

mérete *nagyobbnak*, sűrűsége *kisebbnek* adódik és a neutrínók (dinamikailag szükséges) sebessége a lecsökkent gravitációs potenciál miatt a galaxisok sebességével *egyenlővé* tehető. Ez a feltételezés már nem mond ellent elemi megfigyelési tényeknek, mivel a semleges neutrínók magasabb hőmérsékleten sem bocsátanak ki termikus elektromágneses sugárzást, vagyis közvetlenül nem észlelhetők. Fontos, hogy a galaxishalmazokra vonatkozó mai kozmogóniai elméletekből a felfűtés természetes úton kikövetkeztethető — egy erős gravitációs kondenzáció vagy kollapszus hatásaként. Megjegyzendő még, hogy valamelyes fűtést a *keletkező* forró Univerzum is jelentett a neutrínók számára, de könnyen kimutatható, hogy ez nagyságrendi becsléseinket nem befolyásolja.

Van azonban arra is lehetőség, hogy *továbbra is majdnem teljesen hideg neutrínókkal számoljunk*. Erre vonatkozóan az egyik korábbi elképzelés az volt, hogy a neutrínók hipotetikus nyugalmi tömegét a napjainkban mértnél kisebbnek, $1 \text{ eV}/c^2 \approx 10^{-9} m_p$ körülinek tételezzük föl. Így a csillagászatilag szükséges sűrűségek, méretek és sebességek szintén magyarázhatóak lennének, ám a (későbbi!) laboratóriumi mérésektől függetlenül is igen furcsa volna, hogy a vázolt számításokból nyerhető *ezerszer nagyobb* ($10^{18} M_\odot$ nagyságrendű) *maximális karakterisztikus tömegnek nem felelne meg semmi a szabályos csillagrendszerek körében*, és így pusztán véletlen volna, hogy a hideg neutrínóobjektumokra a (18) képlet alapján felírt (M,R)-reláció csak éppen a $10^{16} M_\odot$ -nyi tömegtől kezdve adna valami reálisat! Még ennél is nagyobb baj lenne, hogy *csak a nagy galaxishalmazok láthatatlan „rejtett tömegeit” értelmezhetnénk ilyen módon*, az óriásgalaxisokét egyáltalán nem. A (18) összefüggés ugyanis *kisebb tömeghez nagyobb méretet* ír elő, márpedig az óriásgalaxisok (még halojukkal együtt is) mind M-ben, mind R-ben nagyságrendileg a nagy galaxishalmazok alatt maradnak!

Ma tehát már világos, hogy a különböző extragalaktikus rejtett tömeg-együttes magyarázatához, a mérésekkel összhangban *legalább $10\text{--}30 \text{ eV}/c^2$ nyugalmi tömegű leptonokat (neutrínókat) kell feltételeznünk*. Így az egyedi óriásgalaxisok majdnem teljesen hideg haloi fizikailag teljesen lehetségesek, a nagy galaxishalmazok stabilitását pedig akár a halmaz egyes óriás tagjai körül levő viszonylag hideg halok össztömege akár egy egyenletesebben felfűtött, és az egész halmazra kiterjedő gáz biztosíthatja.

Végezetül hangsúlyozni kívánjuk, hogy az itt leírtak elvileg bármiféle *stabil semleges leptonra* alkalmazhatók, nem csak az elektron-neutrínóra, amelynek nyugalmi tömegére laboratóriumi mérések is utalnak. Ezért a további mérések esetleges negatív eredményei még nem jelentenék ezen elképzelések cáfolatát. (Persze nem csak valamiféle 10^{-31} g alatti tömegű leptonok, hanem makroszkopikus testek — pl. 10^{+31} g alatti tömegű bolygók — is adhatják esetleg a rejtett tömegeket, bár tömeges

keletkezésüket és furcsa eloszlásukat igen bajos volna megmagyarázni, barionjaik pedig az ősi kozmológiai nukleogenezisben okoznának a tapasztalattal rosszul egyező elemarányokat.)

Protohalmazok

Eddig csak kozmikus egyensúlyi alakzatokat vizsgáltunk, és láttuk, hogy a tömeggel rendelkező neutrínók valóban igen hasznosak lehetnek a legnagyobb csillagrendszerek egyensúlyának megmagyarázására, de a neutrínó nyugalmi tömegének feltételezett értékéből *nem tudtuk még levezetni a legnagyobb csillagrendszerek tömegének felső határát* (az 1. ábra felső sávjának csúcspontját) — úgy, ahogy levezettük az összefüggő barion + elektron csomók tömegének felső határát (a csillagtömeget) a nukleonok tömegéből. Elméleti tilalom híján még csak a csillagászati megfigyelésekből vettük, hogy a legnagyobb szabályos csillagrendszerek tömege nem lehet lényegesen nagyobb, mint $10^{15} M_{\odot}$!

Egy teljesebb értelmezés felé a döntő előrelépést ifj. Szalay Sándor és Marx György azon felismerése jelentette, hogy a forró Univerzum elméletében *a neutrínók feltételezett nyugalmi tömege meghatározza az ősi anyagsomósodásoknak, „protohalmazoknak” a tömegét.* (Ezek váltak ki először a valaha majdnem teljesen egyöntetű, táguló anyagból, tehát ezeknél kezdődött el a kozmikus anyag darabolódása.) Marx és Szalay észrevette, hogy a megfigyelésekkel jó nagyságrendi összhangba kerülünk, ha $m_{\nu} \cong 15 \text{ eV}/c^2$. Természetesen minden kisebb megfigyelt objektumot ezen ősi halmazok további fragmentációjának eredményeként értelmezhetünk. A laboratóriumi méréseket évekkel megelőző megfontolásuk alap gondolatát a későbbi tudományos fejleményeknek és a jelen áttekintés szempontjainak figyelembevételével ma a következőképpen fogalmazhatjuk meg.

A forró ősuniverzumban a neutrínók *mozgási* energiája eleinte nagyobb volt, mint *nyugalmi* energiájuk. Ezek a részecskék akkor még erősen relativisztikusak voltak, fényszerűen viselkedtek. (A fény tiszta mozgási energiaként is fölfogható!) Ebben a korszakban a neutrínók nyugalmi tömege lényegtelen volt, a neutrínógáz nem mutatott gravitációs instabilitást (csomósodási hajlamot), sőt — amint azt Zeldovics kimutatta — a kisebb véletlenszerű sűrűség-ingadozások a fény sebességével elmosódtak, kisimultak.

A helyzet gyökeresen megváltozott egy t , időpontban, amikor a tágulás és lehűlés során a változatlan nyugalmi és a csökkenő termikus mozgási energia *egyenlővé lett.* Ettől kezdve a nyugalmi tömeg és annak *gravitációja* vált fontossá. Az immár közönséges, klasszikus neutrínógázban növekedésnek indultak a sűrűségperturbációk. (Szigorúan véve ennek előfeltétele, hogy a kozmikus anyag majdnem pontosan kritikus

sűrűségű legyen, vagyis kinetikus és potenciális energiatartalma közelítőleg egyenlő legyen, különben nem kapunk a kellő időben kondenzálódást.) Am az új korszakra már csak azok a sűrűség-ingadozások maradtak meg, amelyeket t_v idő alatt még a fénysebességű hatás sem tudott elsimítani, vagyis amelyek a t_v időpontban érvényes „kauzális horizonton” túl nyúltak: nagyobbak voltak kb. ct_v -nél. Mivel a legkisebb kiterjedésű még éppen megmaradt sűrűsödések összehúzóadási ideje volt a legrövidebb, így ezek összeroppanása hozta létre az őshalmazokat — még mielőtt a számottevően nagyobb kiterjedésűek bármi lényeges jelenléte produkálhattak volna. Az elméletben *megjelenik tehát egy kitüntetett neutrínó-protohalmaz tömeg, amely t_v (és ezen keresztül m_v) függvénye!*

Az (elektromágnesesen is kölcsönható) protonok és elektronok csomósodása csak az Univerzum sugárzási korszakának elmúltával kezdődhet, amikor az ionizált anyag helyett már *semleges* atomok vannak jelen. A neutrínó-protohalmazok képződése azonban ezt megelőzi, ha t_v még a sugárzási korszakra esik, vagyis ha $m_v > 1 \text{ eV}/c^2$. Ez esetben az atomos anyag (amely csak a nyugalmi tömeg kisebb hányadát képviseli az Univerzumban) a neutrínó-protohalmazokra — mint korábban képződött kondenzációs magokra — csapódik le, majd azokon belül fragmentálódik tovább.

A fent mondottak azt jelentik, hogy az adott képből m_v meghatározza a legnagyobb csillagrendszerek össztömegét, a korábban tárgyaltak szerint pedig m_p meghatározza a csillagok (vagy mondjuk úgy, hogy a legkisebb csillagrendszerek) tömegét.

Az elemi részek tömegének értéke formálja a makrovilágot?

Az 1980-as év újabb nagy meglepetése volt annak felismerése, hogy szigorúan azonos matematikai képlet határozza meg egyrészt a legnagyobb tömegű stabil elemi rész (a proton) és a legkisebb csillagrendszer, másrészt a legkisebb tömegű elemi rész (a neutrínó) és a legnagyobb csillagrendszer közötti kapcsolatot. Az új tömeghatár megadásához tehát egyszerűen csak neutrínóra kell felírunk az α_g „gravitációs finomszerkezeti állandó” analogonját és venni ennek $-3/2$ -ik hatványát (formailag épp úgy, mintha a maximális hideg neutrínóobjektumot néznénk a (26) képlet szerint). A csillagok és a legnagyobb csillagrendszerek tömegét az M_* és $M_\bullet$ szimbólumokkal jelölve:

$$\begin{aligned}
 M_* &= M_o = \left(\frac{\gamma m_p^2}{h c} \right)^{-3/2} \cdot m_p = \alpha_g^{-3/2} m_p \\
 \text{és} \\
 M_\bullet &= M_v = \left(\frac{\gamma m_v}{h c} \right)^{-3/2} \cdot m_v = \alpha_v^{-3/2} m_v
 \end{aligned} \tag{28}$$

Kiemeljük, hogy a két alapvető kozmikus tömeghatárt megadó képletet minden csillagászati megfigyelési adat nélkül is fölírhatjuk, kizárólag laboratóriumi alapadatok felhasználásával. (28) érdekes közvetlen folyománya, hogy az „alapvető” kozmikus tömegek aránya éppen egyenlő a két extrém tömegű, alapvető elemi rész tömegarányának négyzetével:

$$M_{\bullet}/M_{\odot} = (m_p/m_v)^2. \quad (29)$$

Most vázoljuk a fenti „új” összefüggéseket bizonyító megfontolást. Egy-ségrendű konstansokat nem írva a t_v pillanatban érvényes horizonton belüli tömeg (vagyis a protohalmaz tömege) a sűrűséggel kifejezve az

$$M_{\bullet} = \varrho(ct_v)^3 \quad (30)$$

képlettel becsülhető. (Az egységnyi nagyságrendű faktorokat, pl. $4\pi/3$, most sem vesszük figyelembe!) A táguló Univerzum pillanatnyi $\varrho \cong \varrho_v$ átlagsűrűsége és a t_v pillanatnyi teljes tágulási idő között a tágulás korai szakaszán mindenképpen a következő közelítő összefüggést írja elő a relativisztikus kozmológia (vagy akár annak klasszikus newtoni közelítése)

$$t_v \cong (\gamma \varrho_v)^{-1/2} \quad (31)$$

A levezetés részletezése helyett érdemes itt hangsúlyozni a (31) képlet általános dinamikai jellegét: pl. a közönséges csillagpulzáció, a csillag-kollapszus, vagy akár a maximálisan lehetséges csillagrotáció karakterisztikus ideje is mind ugyanígy függ a csillag sűrűségétől!

(30) és (31) alapján t_v kiküszöbölhető:

$$M_{\bullet} \cong c^3 \gamma^{-3/2} \varrho_v^{-1/2} \quad (32)$$

Azon korszak végéig, amíg a neutrínók sugárzásszerűen viselkednek, érvényes a Stefan-Boltzmann törvény megfelelője, amely kapcsolatot létesít a neutrínósűrűség és a „neutrínóhőmérséklet” között

$$\varrho_v = \sigma T_v^4 \cong h^{-3} c^{-3} k^4 T_v^4. \quad (33)$$

E korszak végén (vagyis a t_v időpontban) $kT_v \cong m_v c^2$, amit (33)-ba, majd (32)-be írva valóban éppen (28) második egyenletét kapjuk.

A laboratóriumi mérések alapján feltételezhetjük, hogy $m_p/m_v \cong 10^{7.5}$, így (29)-ből az adódik, hogy:

$$M_{\bullet} = 10^{16} M_{\odot}. \quad (34)$$

ami csakugyan megfelel a csillagászatilag észlelt legnagyobb csillag-rendszereknek, a *nagy galaxishalmazoknak*.

Az érvelés elvileg meg is fordítható: amennyiben a laboratóriumi tömegmérés megbízhatatlannak mutatkozna, úgy pusztán az *évről leolvasható adatok* is utalnának arra, hogy valószínűsíthető egy, a protonnál kb. 7,5 nagyságrenddel kisebb tömegű semleges lepton létezése, akár valóban a nemrég bejelentett elektron-neutrínókról van szó, akár nem.

Megjegyezzük még, hogy a (28) képlet-párban összefoglalt végeredményünket az 1. táblázatból ismert Planck-tömeg segítségével még tömörebb formára is hozhatjuk:

$$M_{\bullet} = M_0 = \left(\frac{\mu_{P1}}{m_p} \right)^2 \mu_{P1} \quad \text{és} \quad M_{\bullet} = M_{\nu} = \left(\frac{\mu_{P1}}{m_{\nu}} \right)^2 \mu_{P1} \quad (35)$$

Az eddigiek birtokában egy érdekes feladatra vállalkozhatunk: elemi logikával megszerkeszthetjük a korábban pusztán empirikusan felismert $M(R)$ diagramot az egész megfigyelhető világra. Mint látni fogjuk, így magától előáll „minden szinten szinte minden” (5. ábra).

Szerkesszünk világot!

Egyetlen vonalra van szükségünk az általános relativitáselméletből (vagyis az általános tömegvonzás és a speciális relativitás elméleteinek szintéziséből, amelyet a 2. ábrán már említettünk). Ez az elmélet minden *tömeghez* hozzárendel egy *méretet*, az ún. *Schwarzschild-sugarat* vagy „gravitációs rádiust”, amely alatt (gömbszimmetrikus esetben) a gravitációs összeomlás feltartóztathatatlanul „fekete lyuk” képződéséhez vezet. A hozzárendelés (egy 2-es szorzótól eltekintve)

$$M = \frac{c^2}{\gamma} R \quad (36)$$

alakul, vagyis az 5. ábrán egy 45°-os, emelkedő egyenessel ábrázolható.

A 2. ábra szintéziséből még kimaradt kvantumelméletnek is csupán egyetlen vonalat „engedélyezünk” az 5. ábrán, egy 45° alatt süllyedő egyenest:

$$M = \frac{\hbar}{c} R^{-1} \quad (37)$$

amely minden tömeghez az ún. *Compton-hullámhosszát* rendeli hozzá, mint „méretet”. E méret alatt a szokásos tér- és időfogalmaink elmosódottá, használhatatlanná válnak. Időben tartós stabil képződmények tehát csak e két vonaltól jobbra kereshetők!

Jelmagyarázat:

p proton

e elektron

ν neutrínó

A atom (hidrogén)

B baktérium

E ember

H hegy (lehető legmagasabb)

* csillag (átlagos)

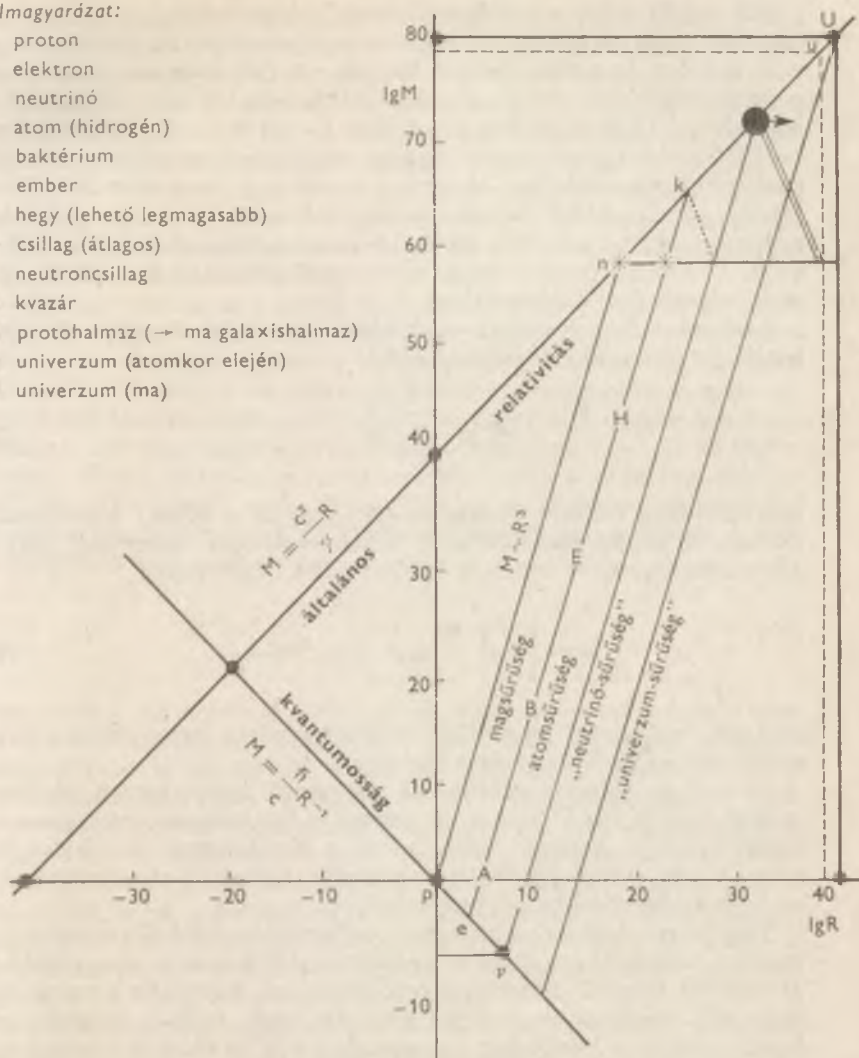
n_s neutroncsillag

k kvazár

● protohalmaz (→ ma galaxishalmaz)

u univerzum (atomkor elején)

U univerzum (ma)



5. ábra. A tömeg—méret „világdiagram” konstrukciója

(36) és (37) adja a „világszerkesztés” alapvonalait, de szükségünk van még bizonyos *alappontokra és szerkesztővonalakra* is. Ezért az alapvető nukleon (a proton) ismert tömegéhez a (37) kvantumvonal révén *méretet* definiálunk, majd a $\varrho \cong M/R^3$ képlet alapján egy „sűrűséget” is asszociálunk. Így a proton tömegéhez ($\sim 10^{-24}$ g) egy protonméret ($\sim 10^{-13}$ cm) és egy protonsűrűség vagy általánosabban nukleáris sűrűség ($\sim 10^{-15}$ g/cm³) rendelhető. A proton tehát egy *alappontot* definiál az (M, R) síkon. Ebből kiindulva megszerkeszthetjük a magsűrűségű anyagok „ekvidenzitáját”, amely — mint szerkesztő- vagy vetítővonal — éppen a (magsűrűségű) *neutroncsillagot* metszi ki a (36) szerinti relativitáselméleti határvonalon!

A szerkesztés helyességét m_p -ből kiindulva közvetlenül is ellenőrizhetjük: a proton-ekvidenzita egyenlete

$$M = \frac{c^3 m_p^4}{h^3} R^3, \quad (38)$$

ami láthatólag valóban átmegy az ($M = m_p$, $R = h/cm_p$) koordinátájú ponton. A proton-ekvidenzita és a relativisztikus határvonal (38) és (36) metszéspontjára behelyettesítéssel azt kapjuk, hogy:

$$M = \left(\frac{\gamma}{hc} \right)^{-3/2} m_p^{-2} = \alpha_g^{-3/2} m_p \quad (39)$$

ami (9) és (23) szerint valóban a *neutroncsillag* (és egyúttal minden egyéb csillag) karakterisztikus tömege:

Az 5. ábrán tehát megkaptuk az n^* jelzésű metszéspontot. Az összes csillagféleség jó közelítéssel az n^* ponton át fektetett *vízszintes* egyenesen található! Egy „tipikus” csillag adatai e vízszintesnek és a (hidrogén-) atom A jelű pontján át fektetett második („atomi”) ekvidenzitának a metszéspontja közelében helyezkednek el.

Vegyük észre, hogy az atomot és csillagot összekötő ekvidenzita nem pusztán szerkesztővonal: *ezt a természetes objektumok is kirajzolják!* Az atomokból felépülő összefüggő rendszerek (pl. kozmikus porszemcsék, meteorok, biológiai és geológiai képződmények, holdak, bolygók, csillagok) maguk is közelítőleg „atomsűrűségűek” és ezért az atomtól csillagig terjedő 3-as meredekségű egyenes szakasz közelében fekszenek. Ezáltal értelmeztük az 1. ábra *alsó sávját*. Figyelemre méltó, hogy az atomi sűrűségű objektumok számára megengedett szakasz kellős közepén helyezkedik el tömeg és méret szerint az ember!

A csillag (9)-nek megfelelően kb. $\alpha_g^{-3/2} = 20 \cdot 10^{56}$ nukleonból áll, míg az ember (~ 75 kg) kb. $\alpha_g^{-3/4} \approx \sqrt{20} \cdot 10^{28}$ nukleonból, ami éppen az előb-

binek a négyzetgyöke. Ugyanannyiszor vagyunk tehát kisebbek a csillagnál, ahányszor nagyobbak az atomnál! Bizonyítható, hogy a nagybolygón lakó élőlény számára optimális fejlettséget lehetővé tevő nukleonszám $\alpha^{-3/4}$ körüli. Az ennél lényegesen nagyobb „elesvén széttörik”, és ezért életképtelen. A kémiai-biológiai fejlődés csak a kémiai-elektromos és a gravitációs potenciális energiák kiegyenlítődéiséig vezethet. A tisztán elektromosan kötött atom és a tisztán gravitációsan kötött csillag a két véglet: az atom „elektromos csillag”, a csillag „gravitációs atom”. E szélsőségek között a „középutas” az ember, a „gravitációsan határolt elektromos lény”.

Végezzük most el az 5. ábrán a protonnál olyan jól bevált szerkesztést a *neutrínóra* is (hiszen úgy tűnik, hogy vagy a neutrínók vagy valamilyen más semleges leptonok az Univerzum dinamikailag alapvető részecskéi lehetnek). A neutrínó tömegét akár a laboratóriumi mérések, akár a csillagászati megfigyelésekhez való illeszkedés alapján a proton-tömegnél 7,5 nagyságrenddel kisebbnek gondoljuk (kb. $15 \text{ MeV}/c^2 \approx 10^{-31} \text{ g}$). Ehhez (38) alapján ismét „méretet” (kb. 10^{-5} cm) és „sűrűséget” (kb. 10^{-16} g/cm^3) asszociálunk. (38)-ban és (39)-ben a p index helyére v -t írva azonnal adódik, hogy a „neutrínó-ekvidenzita” a (36) relativitáselméleti határvonalon kimetszi az

$$M = \left(\frac{\nu}{hc} \right)^{-3/2} m^{-2} = \alpha_v^{-3/2} m_v \quad (40)$$

tömegértéket (az ábrán ● jelöli), amely ismét megegyezik a (28) alatt levezetett protonhalmaz-tömeggel, és a legnagyobb megfigyelt szabályos csillagrendszerek tömegével! A (40)-nek (36) alapján megfelelő méret természetesen nem a *mostani* óriáshalmazok mérete (hiszen ez csak hosszú, és elég bonyolult kozmogóniai részfolyamatok után stabilizálódott), hanem a *protohalmaz* azon mérete, amellyel a *környezetétől való elkülönülése* kezdetén rendelkezett. Ez még a mai galaxisméretnél is kisebbnek adódik. Mivel a fejlődés során a tömegek nagyságrendileg változatlanok, ezért a mai reális galaxishalmaz-méreteket ismét a megszerkesztett metszésponton át fektetett vízszintes egyenesen találhatjuk (éppúgy, mint korábban a különböző csillagokét).

A két relativisztikus metszésponthoz (● és n^*) tartozó két vízszintes vonallal kijelöltük — és vázlatosan értelmeztük — az 1. ábra második, *felső* sávjának kitüntetett szélső tömegeit. Ez a sáv az ekvidenzitáknál kisebb meredekségű (3 helyett kb. 2,3), mivel a csillagrendszerek hierarchikusan egymásba épülnek, és így a magasabb rendűek szükségképpen kisebb sűrűségűek.

A protohalmazt adó, ● szimbólummal jelölt metszéspontból a (18) alatt levezetettekhez hasonlóan ismét egy —3 meredekségű ($M \sim R^{-3}$)

egyenes szerkeszthető. Ez határozza meg a fizikailag lehetséges legsűrűbb, hideg, kötött neutrínóobjektum méretét minden rögzített tömeghez (5. ábra kettős vonala). E vonal és a csillagrendszerek sávja a nagy galaxisoknál metszi egymást: innentől kezdve jelenhetnek meg a galaxisok neutrínóhalói — mint az anyag nagyját kitevő „rejtett tömegek”.

Az egyetlen „neutrínótömeg” tehát két különböző kozmikus tömegértéket tüntet ki: ezek kb. $10^{12} M_{\odot}$ és $10^{15} M_{\odot}$, vagyis éppen az óriásgalaxisok és az óriáshalmazok össztömegei.

Eddig megszerkesztettük már a csillagot, a galaxist, a galaxishalmazt, sőt „önmagunkat” is, mégsem merítettük ki a legkézenfekvőbb lehetőségeket sem. Az „ábra logikája” még tovább vezet, hiszen köztudottan van még legalább egy kitüntetett kozmikus sűrűségérték: az *Univerzum átlagsűrűsége*. Ez nagyságrendileg 10^{-30} g/cm³ körüli (közönséges barionanyagra valószínűleg kissé kevesebb, neutrínóanyagra várhatóan valamivel több). Bizonyítható, hogy az „Univerzum-ekvidenzita” a relativisztikus vonalon kimetszi a teljes megfigyelhető kozmosz (azaz az ún. „horizonton” vagy az ahhoz közel eső „Hubble-távolságon” belüli világ) tömeg- és méretadatait.

Vegyük észre, hogy a kozmikus struktúrák „megszerkesztéséhez” szükséges négy ekvidenzita kb. éppen egyenlő távolságra van egymástól (ekvidisztans): a megfelelő sűrűségek rendre kb. 10^{15} g/cm², 10^0 g/cm², 10^{-15} g/cm³ és 10^{-30} g/cm³. Ennek a nagyságrendi szabályosságnak az oka ma még nem ismeretes, látható azonban, hogy a „világot előállító szerkesztés” meglehetősen szabályossága részben ennek köszönhető. Visszafelé okoskodva ismét fölvetődik a gondolat: ha a neutrínó nyugalmi tömegére vonatkozó laboratóriumi mérések még nem is léteznének vagy tévesnek bizonyulnának, e szabályosság alapján akkor is újabb okunk lenne sejtetni egy megfelelő tömegű elemi részecske létét, amely nélkül véletlennek minősülne egy feltűnő rend. „Ha neutrínó nem lenne, föl kellene találni!”

Még egy helyen érdemes engedni az 5. ábra csábításának. Az egyik ekvidenzitát — éppen a legnépesebben populáltat, az „atomit” — eddig még „elfelejtettük” folytatni, egészen a (36)-nak megfelelő relativitáselméleti határvonalig. Ám láttuk, hogy az atomi sűrűségű anyag a csillagokénál lényegesen nagyobb tömeggel nem lehet tartósan stabil egyensúlyban. Még ha egy olyan sűrű csillaghalmazt tekintünk is, amely csupán néhány nagyságrenddel kisebb sűrűségű a tipikus csillagoknál, akkor is heves „*ütközések*” vagy más kölcsönhatások várhatók a halmaz elemei között. Ezek szerint egy, a csillagászati időskálán mérve *kevésbé tartós, igen gyors, heves változásokat mutató, relativisztikusan kompakt* (tehát nagy gravitációs energiák fölszabadítására képes) objektum „hiányzik” a világdiagramról — kb. $10^8 M_{\odot}$ tipikus tömeggel. Nem nehéz ráismerni az önként kínálkozó megoldásra: „ha *kvazár* nem lenne, föl kellene találni!”

(És ez még akkor is így van, ha a szóban forgó instabil objektumról és energiatöbbletszabadító folyamatainak részleteiről vajmi keveset tudunk is.) Ezek szerint még a csillagászat történetének egyik legnagyobb és legváratlanabb szenzációja, a máig sem kellően megértett kvazárjelenség is elemien logikus egy eléggé átfogó szempontból nézve. Az értelmezett és „megszerkesztett” jelenségek egész sorát tekintve pedig úgy látszik, meg kell barátkoznunk a gondolattal, hogy a csillagászati makrokozmosz nagy vonalakban nem egyéb, mint (ekvidisztans ekvidenzitákkal) „égre vetített mikrovilág”.

Álljon itt még néhány példa az 5. ábra alapján fölismerhető szabályosságokból (amelyeket most nem részletezünk tovább)*. A proton sugara mértani közép a saját Schwarzschild-sugara és az Univerzum sugara (tehát a proton saját gravitációs és kauzális sugara) között; méret tekintetében az Univerzum és az atom között a csillag (esetleg a maximális bolygó) a mértani középárányos; a csillag és atom között tömeg és méret szerint is mértani középárányos az ember (a legfejlettebb élő); az ember és atom között mértani középárányos a baktérium (a legelemibb egysejtű élő). Tömeg és méret szerint tehát egyaránt egyenlő nagyságrendi lépéseket jelent az atom—baktérium—ember—hegy (ti. nagybolygón lehetséges legmagasabb kúp)—csillag sorozat. Egy másik közelítőleg egyenközű tömegsorozat a logaritmikus skálán: csillag—„kvazár”—galaxishalmaz (eredetileg protohalmaz) — Univerzum (a Hubble távolságig).

Az effajta összefüggések jó része fizikailag szükségszerű. Világos pl., hogy az (elektromosan kötött) atom azért olyan *kicsi*, mert az elektromos kölcsönhatás *erős*, vagyis mert $e^2/\hbar c$ elég *nagy*. A (gravitációsan kötött) kozmikus objektumok pedig azért olyan *nagyok*, mert a gravitációs kölcsönhatás *gyenge* (az elemi részek közt működő erőkhöz képest), vagyis mert $\gamma m^2/\hbar c$ elég *kicsi*. A gravitáció gyengeségében fizikai létfeltételünket ismerhetjük föl: ha α_g nem 10^{-40} közelében, hanem például 10^{-20} körül lenne, akkor a legnagyobb életképes objektum csak valami baktérium-féle lehetne. Ámde láttuk azt is, hogy α_g rendkívüli kicsinysége egyúttal a világ teljesebb fizikai megértésének és ezáltal az emberi megismerésnek is egyik legfőbb akadálya (ld. kis számok törvénye). „Csak nagyon nehezen érthető világban élhet a magunkfajta!” Annál érdekesebb, hogy mégis milyen sokat megértünk belőle két-három „szerkezeti állandója” alapján.

* Utalunk az egyik szakirodalmi forrásra, B. J. Carr és M. J. Rees cikkére; Nature, 278. kötet, 605—612, 1979.

A világ szerkezeti állandói (összefoglalás)

Elektromos „finomszerkezeti állandó”

$$\alpha = \frac{e^2}{hc} = 1/137,02 = 7,3 \cdot 10^{-3}$$

Ebből az atomok különböző jellemzői származtathatók, pl.:

$$\text{Atomméret „elektronméret” egységeiben: } \frac{R_A}{r_e} = \alpha^{-1} \cong 137$$

(Itt az r_e „elektronméret” az elektron Compton-hullámhossza.)

Gravitációs „szerkezeti állandó”

$$\text{protonra } \alpha_{gp} = \frac{\gamma m_p^2}{hc} = 5,83 \cdot 10^{-39}$$

$$\text{„neutrínóra” } \alpha_{g\nu} = \frac{\gamma m_\nu^2}{hc} \cong \alpha_{gp} \cdot 10^{-5}$$

Ebből származtathatók a „csillagászati számok”, pl.:

Ember tömegszáma:

$$\frac{M_E}{m_p} = \alpha_{gp}^{-3/4} \cong 4,5 \cdot 10^{28}$$

Csillag tömegszáma:

$$\frac{M_\star}{m_p} = \alpha_{gp}^{-3/2} \left(\frac{M_E}{m_p} \right)^2 \cong 2 \cdot 10^{57}$$

„Kvazár” tömegszáma:

$$\frac{M_K}{m_p} = \alpha_{gp}^{-3/2} \frac{m_p}{m_\nu} = \frac{M_\star}{m_p} \frac{m_p}{m_\nu} = \frac{M_\star}{m_\nu} \cong 7 \cdot 10^{64}$$

Galaxishalmaz tömegszáma:

$$\frac{M_\bullet}{m_p} \alpha_{gp}^{-3/2} \left(\frac{m_p}{m_\nu} \right)^2 = \frac{M_\star}{m_p} \left(\frac{m_p}{m_\nu} \right)^2 = \frac{M_K}{m_\nu} \cong 2 \cdot 10^{72}$$

Univerzum tömegszáma:

$$\frac{M_U}{m_p} = \alpha_{gp}^{-3/2} \left(\frac{m_p}{m_\nu} \right)^3 = \frac{M_\star}{m_p} \left(\frac{m_p}{m_\nu} \right)^3 \frac{M_\bullet}{m_\nu} = \alpha_{gp}^{-3/2} \cong 7 \cdot 10^{79}$$

A 4. táblázat utolsó képletsora (az 5. ábrával összhangban) azt mutatja, hogy az Univerzum bizonyos *változó* jellemzői egyenlők belső szerkezeti elemeinek bizonyos *állandó* jellemzőivel. Pl. a horizontig terjedő Univerzum-darab *változó* tömegszáma (m_p segítségével kifejezve) egyenlő a legnagyobb *változatlan* csillagrendszer tömegszámával (m_* segítségével kifejezve), és egyúttal egyenlő a neutrínóra fölírt gravitációs szerkezeti állandó $-3/2$ -dik hatványával is. A változó és állandó szerkezeti jellemzők csak *pillanatnyilag* („röpke évmilliárdokig”) egyezhetnek meg jó közelítéssel. Ez az az időszak, amikor ember és napsütés (forró csillag) egyáltalán lehetséges a fejlődő Univerzumban: a rögzített szerkezeti állandókhoz éppen illeszkedő táguló Univerzum csak annak „ember korszakában” lehetséges. Így a legnagyobb gravitációsan behatárolt objektum, az Univerzum, visszaental a legkisebb gravitációsan behatárolt létezőre, az emberre.

Ha azonban a táguló Univerzum nem mutatna nagyfokú szabályosságot (homogenitást és izotrópiát, igen jó közelítéssel), és tágulásának „kinetikus energiája” nem lenne éppen egyenlő a megfelelő összetartó „gravitációs potenciális energiával” (ugyancsak igen jó közelítéssel), akkor hiába vágnának egybe az Univerzum és a benne elvileg lehetséges szerkezetek absztrakt jellemzői, a nagy egybecsengést ténylegesen semmi sem valósítaná meg, és senki nem konstatálná*. Így a legkisebb gravitációs szerkezeti elemeknek (embernek, bolygónak, csillagnak) kozmológiai létfeltétele egy hozzájuk illeszkedő Világmindenség.

* Vö. Csillagászati Évkönyv, 1976. 242. oldal.

A COLOMATION-BERENDEZÉS CSILLAGÁSZATI ALKALMAZÁSAI

A mesterséges égitestek megjelenésével a csillagászatban is új korszak vette kezdetét. Az ember űrszondákat küldhetett a Hold köré, majd csakhamar a belső bolygókat közelítette és figyelte meg műszereivel. Jelenleg már a külső bolygók, a Jupiter és a Szaturnusz „mini naprendszereinek” titkaiba is bepillantathatunk.

A Földtől sok millió kilométerre eltávolodó űrszondák mellett a bolygónk közelében keringő mesterséges holdakon elhelyezett berendezések a földi légkör zavaraitól mentes képeket adnak a környező Világegyetemről a teljes színképtartományban.

Mindezen információkban közös, hogy — az űrállomásokon ember közreműködésével készült felvételeket kivéve — a Földre a rádióhullámok közvetítésével jutnak el. Az így kapott információk feldolgozásában alapvető szerepe van a *számítógépeknek*, közelebbről a *digitális képfeldolgozásnak*.

E képfeldolgozási eszközök és módszerek kialakulásával önkéntelenül felvetődött a kérdés: vajon a hagyományos módon, földi távcsövekkel készített felvételek digitális feldolgozásával nem nyerhetők-e új csillagászati eredmények? A kérdésre a tapasztalat adta meg az igenlő választ. Napjaink vezető csillagászati intézeteiben nemcsak az újabb felvételeket, hanem archívumaik anyagait is előszeretettel dolgozzák fel digitális módszerekkel. Sőt, az utóbbi időben teljes mértékben numerikus feldolgozásra tervezett, a hagyományos távcsövektől gyökeresen eltérő képalkotó rendszereket is létrehoztak.

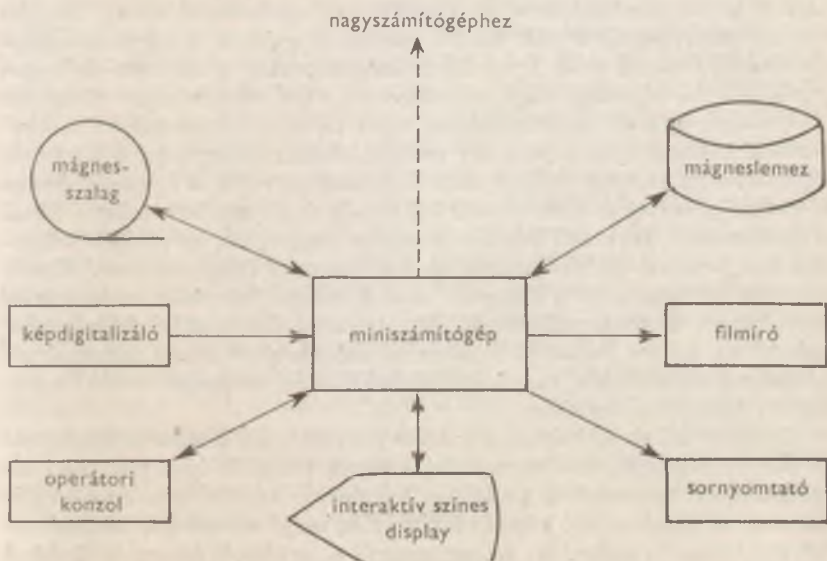
Cikkünkben előbb vázlatos, csillagászati alkalmazásokkal kísért áttekintést kívánunk adni a digitális képfeldolgozásról, majd bemutatjuk a cikk megírására alapot adó Colormation berendezést. Az utolsó részben a lehetőségek illusztrálására a Földmérési Intézet 1981 elején meglevő eszköz- és módszertárának felhasználásával néhány csillagászati vonatkozású eredményt mutatunk be.

Digitális képfeldolgozás a csillagászatban

Bármilyen képi információ digitális feldolgozásának az alábbi főbb lépései lehetnek:

- a kép bevitele a számítógépbe (input), digitalizálás;
- képjavítás, a jel/zaj viszony növelése a geometriai és fotometriai zavarok kiküszöbölésével;
- információkiemelés, a kép vizuális megjelenésének javítása;
- automatikus képanalizálás;
- képmegjelenítés, képviSSzaállítás (output).

A csillagászati felvételek digitális feldolgozásától általában azt várják, hogy a felvételen levő kicsi, szemmel nem észlelhető fényességkülönbségek a csillagász számára érzékelhetővé váljanak. Ehhez az input/output műveletek mellett a második és harmadik feladattípusra van szükség. Vannak azonban olyan alkalmazások is, ahol a feldolgozás eredményeként a géptől várunk bizonyos döntéseket (negyedik feladattípus). Az ilyen alkalmazást indokolhatják az emberi szem számára túl kicsi denzitáskülönbségek, de szempont lehet a gép objektivitása és az automatizálás, vagyis az ember mentesítése bizonyos munkaigényes, rutintevékenységek elvégzése alól.



1. ábra. Képfeldolgozásra szolgáló tipikus számítógépi konfiguráció

A képfeldolgozás általában interaktív folyamat. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozás során gyakran szükség lehet *emberi döntésre, beavatkozásra*. A képfeldolgozó konfigurációk központjában ezért a viszonylag olcsó, nagy kapacitású mágneslemezzel és video perifériával (display) felszerelt, „házon belüli” miniszámítógépek állnak (1. ábra). Az utóbbi időben, a számítási idő csökkentése érdekében előszeretettel használnak több-processzoros rendszereket.

Digitalizálás

A nem digitális formában készült felvételeket a számítógépbe juttatáshoz mindenekelőtt *digitalizálni* kell. A műveleti sebességgel, a felbontással és a geometriai/fotometriai pontossággal szemben támasztott igényektől függően igen sokféle berendezés jöhet számításba, a legegyszerűbb tv-kamerától a költséges lézeres vagy elektronsugaras letapogató berendezésekig. A csillagászok általában előnyben részesítik a síkasztalos berendezéseket, mivel azokkal az üveglemezre készített felvételek is digitalizálhatók.

Képjavítás

alatt a kép értékelését zavaró hatások fizikai-geometriai modell alapján történő eltávolítását értjük. Ezek a műveletek gyakran nagyon számításigényesek. Például a Jet Propulsion Laboratoryban a Mariner- és Voyager-képek feldolgozása nagy teljesítményű IBM számítógépen történik. A Voyager űrszondák felbocsátása előtt televíziós kamerákat laboratóriumi körülmények között oly módon hitelesítették, hogy különböző, egyenletes szűrkeségű céltárgyakat képeztek le velük a kamerák összes színszűrőin keresztül (320 nm-től 640 nm-ig nyolc színtartomány). Ezzel a módszerrel a képmező minden pontjára megkapták az átviteli jellemzőket a bemenő fényintenzitás és hullámhossz függvényében. Ennek ismeretében végzik el a kamerák által készített felvételek *radiometriai korrekcióját*. Fotómozaik készítéshez további fotometriai feldolgozást igényel az égitest felületére különböző szögek alatt beeső napsugárzás hatásának eltávolítása, vagy a különböző rálátási szögekből eredő fényességkülönbségek mérséklése.

A *geometriai kalibrációhoz* a kamera fényérzékeny felületére ún. keretjeleket és örkereszteket visznek fel, melyek pozícióit igen pontosan kimérik. Ezek ismeretében az égitest felszínéről készült képek az ideális kamerával létrehozható képpé alakíthatók, majd tetszőleges térképi vetületbe transzformálhatók. Az ugyanarról a területről három különböző színszűrőn át készített felvétel összemácsolásával keletkező kép — az ún. *színkompozit* — létrehozásához szintén változtatni kell a képegomet-

rián. Mivel mindhárom képet ugyanaz a kamera készíti, a szűrőváltások időtartama alatt a szonda és az égitest relatív mozgása következtében a kamera látómezeje megváltozik.

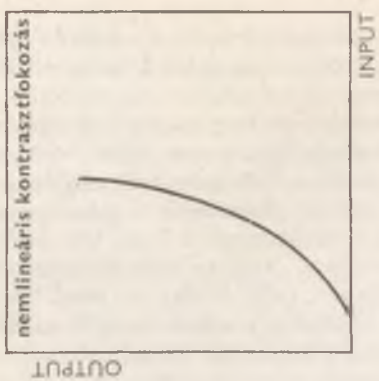
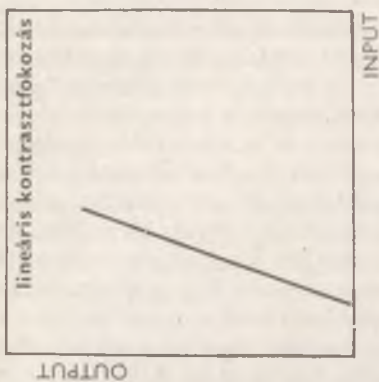
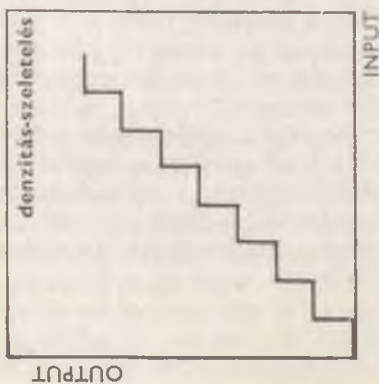
A földi távcsövekkel készített felvételek feldolgozása során tipikus képjavítási művelet *a nem kívánt égi háttér és a légköri torzítás eltávolítása*. A chilei Cerro Tololo Obszervatóriumban az M83 galaxisról négy színképtartományban készített felvételek digitális elemzésével a galaxis szerkezetét tanulmányozták. A felvételtől leválasztották a fiatal kék csillagok, továbbá a köd és gáz okozta járulékat, hogy az idősebb csillagok által alkotott struktúra érzékelhető legyen (V/1. tábla). A fentiekben bemutatott képjavítási műveletekben közös, hogy *a hasznos jel és az értékelést zavaró zaj hányadosát növelik*.

Az információkiemelő eljárások

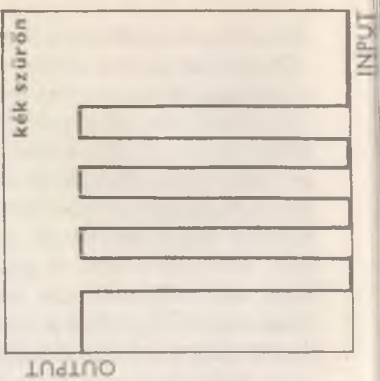
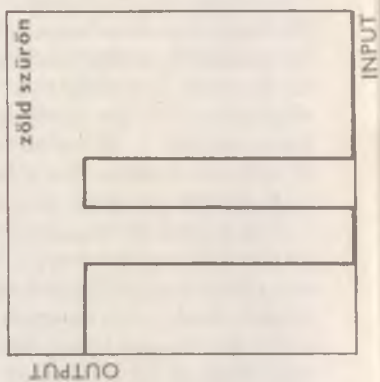
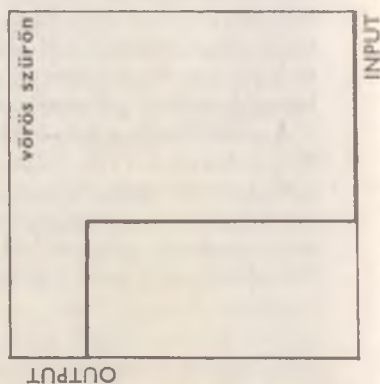
hatására viszont a kép az információtartalmának növekedése nélkül válik az ember számára jobban értékelhetővé, ugyanis az egy-egy felvételen szereplő 150—250 szürke árnyalatot az emberi szem már nem képes elkülöníteni. A kis denzitáseltérések által képviselt információk kiemelésére szolgál *a kép kontrasztjának fokozása és a színkódolás* (2. ábra). Mindkettő vonatkozhat a kép teljes vagy rész-denzitás tartományára is.

A *denzitássszeletelés* is a kontraszt fokozásának egy speciális módja: a képen levő szürke szintek számának csökkentésével, kis számú, de jól elkülönülő szürke szint létrehozásával a kép áttekintését segíthetjük elő. (Nem megfelelő határok választásával viszont lényeges információt veszíthetünk!) Ha az egyes szürke szintekhez eltérő színeket rendelünk, akkor az ún. *színkódolt kép*hez jutunk (2. ábra). (A színkódolt kép és a színkompozit közötti alapvető különbség, hogy míg az első csupán egy „kiszínezett” fekete-fehér kép, addig az utóbbi három, *különböző* spektrumtartományban készült felvétel összevetítésével keletkezik. A „hamis színes” kép elnevezés gyakran elfedi a lényegét, mivel a fentiek értelmében a színkódolt kép *mindig* hamis színes, míg a színkompozit is lehet az, ha a felvételi spektrumtartományok és az összevetítésnél használt szűrők jellemzői páronként nem azonosak.)

A színkódolásra két ábrát mutatunk be: a IV/2. táblán a már említett M83 galaxist, a VI/1. táblán az egyik HEAO műhold által a Rák-ködről a röntgentartományban készített felvételt láthatjuk. A színkódolás az optikai, illetve a röntgenfényességre vonatkozik. A fehér szín nagy, a sötét alacsony intenzitást jelöl. A színkompozitra jó példák lehetnek a Föld felszínéről készített Landsat-felvételek.



szinkódolás (filmre)



Automatikus képanalízis

A képjavítási és az információkiemelési műveletek megegyeznek abban, hogy a számítógép csupán *előkészíti* a képet a vizuális értékelésre. Léteznek azonban olyan feladatok is, amelyekben a *számítógép értékeli ki* a felvételt. (Tudnunk kell azonban, hogy az ilyen feladatoknak a köre ma még meglehetősen szűk, az emberi intelligencia gépi utánzása még csak a kezdet kezdeténél tart.) Példaként említhető az az alkalmazás, melyben Schmidt-teleszkóppal készített felvételeket — melyek a 8—22 magnitúdótartományba eső csillagokat és galaxisokat tartalmaznak — digitalizálnak, majd a háttérzavarok leválasztása után minden egyes elkülöníthető objektum felvételi intenzitásának területi eloszlása alapján a számítógép dönti el, hogy csillagról, kettőscsillagról vagy galaxisról van-e szó. A nagyobb megbízhatóság érdekében a kiértékelést 90° -kal elforgatott képre megismétlik.

Képmegjelenítés

A digitális feldolgozási folyamat közben, illetve annak végén a képet meg kell jelenítenünk. Az erre a célra szolgáló berendezések közül két kategóriát emelünk ki.

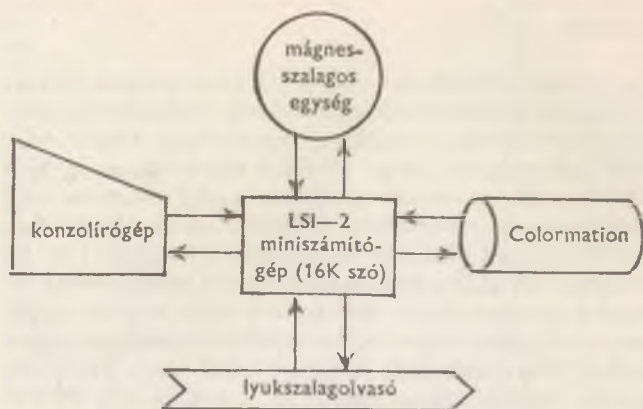
Az *interaktív színes display* a képfeldolgozó konfigurációk alapvető eleme. A tv-képernyőn minden, a képen végzett művelet azonnal ellenőrizhető, és az ún. fényceruzával vagy célzógömbbel mozgatott szátkereszttel a képen tetszőleges részterület kijelölhető, illetve módosítható, és jellemzői meghatározhatók.

A *filmíró-berendezések* — a digitalizálás fordított folyamataként — a digitális adatrendszerrel fényképi minőségű végterméket állítanak elő.

A Colormation felépítése és lehetőségei

Az amerikai Optronics cégtől az MTA Interkozmosz Tanácsa révén beszerzett *Colormation* berendezés — mely 1981 eleje óta működik a Földmérési Intézet távérzékelési főosztályán — fekete-fehér és színes filmek, papírképek digitalizálására, továbbá a fordított eljárásra: digitális adatrendszerekből fekete-fehér és színes képek létrehozására alkalmas. A Colormation vezérlő miniszámítógéppel, mágnesszalagos adattárolóval, lyukszalagolvasóval és konzolrógéppel rendelkezik (3. ábra). A teljes rendszer fényképe az V/2. táblán látható.

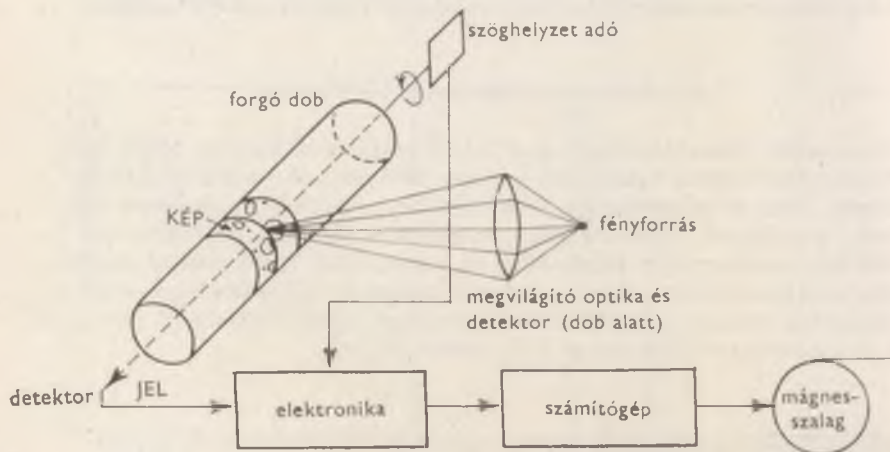
2. ábra. Egyszerű, átvitmódosítással megoldható információkiemelő eljárások



3 ábra. A Colormation-rendszer felépítése

A Colormation vezérlését a lyukszalagolvasóval a számítógépbe betöltött *vezérlőprogram* látja el. Az operátori parancsok a konzolirógépen adhatók meg, és ugyanitt jelennek meg a vezérlőprogram válasza is. A mágnesszalagos egység a digitálizálás során az adatok rögzítésére, képvisszaállítás esetén pedig az előírt formátumban rögzített adatok számítógépbe való juttatására szolgál. A Colormation működését tekintve *digitalizáló* és *képvisszaállító* részből áll. A két rész mechanikai meghajtása közös, míg az optika és elektronika funkcióként különáll.

4. ábra. A Colormation digitalizáló része

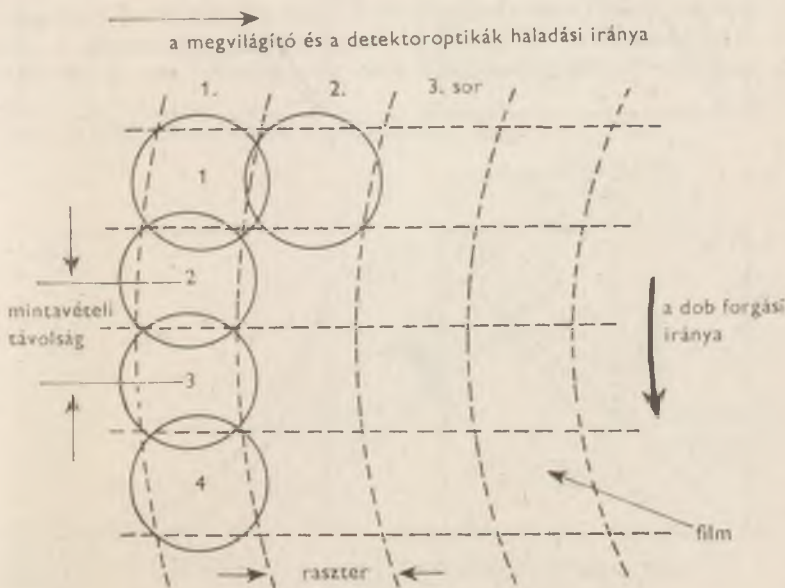


Digitalizálás

A digitalizálandó anyag rögzítésére szolgáló *forgó dob* egy motor által meghajtott tengelyen helyezkedik el, és ide kapcsolódik a képviassaállításhoz használt kazetta dobja is. (A digitalizálás folyamatát a 4. ábra szemlélteti.) A maximálisan 23×23 cm méretű digitalizálandó képet a dob palástjára kell felerősíteni. Forgás közben a dob belsejében levő, *nem forgó optika* megvilágítja a képet. A műszerszekrényben elhelyezett halogénlámpa fénye száloptikán keresztül jut el a megvilágító optikához. A fény útjába *színszűrők* helyezhetők. A filmen áthaladó, illetve a papírképről visszavert fényt a dob alatt található *detektor* érzékeli. A detektoranalóg jelét az *elektronika* — a beállított mintavételi távolságnak megfelelően — mintavételezi és 256 szintre (8 bit) kvantálja.

A dob minden körülfordulása után a megvilágító és detektoroptikát hordozó kocsi a beállított raszternek megfelelően továbblép (5. ábra). A berendezés a dobon levő ablakra történő méréssel kalibrálja önmagát. A kör keresztmetszetű megvilágító fénynyaláb miatt a választott raszter és a mintavételi távolság értékei általában azonosak. Filmek esetében három érték (12,5, 25 és 50 μm) áll rendelkezésre. Papírképekre

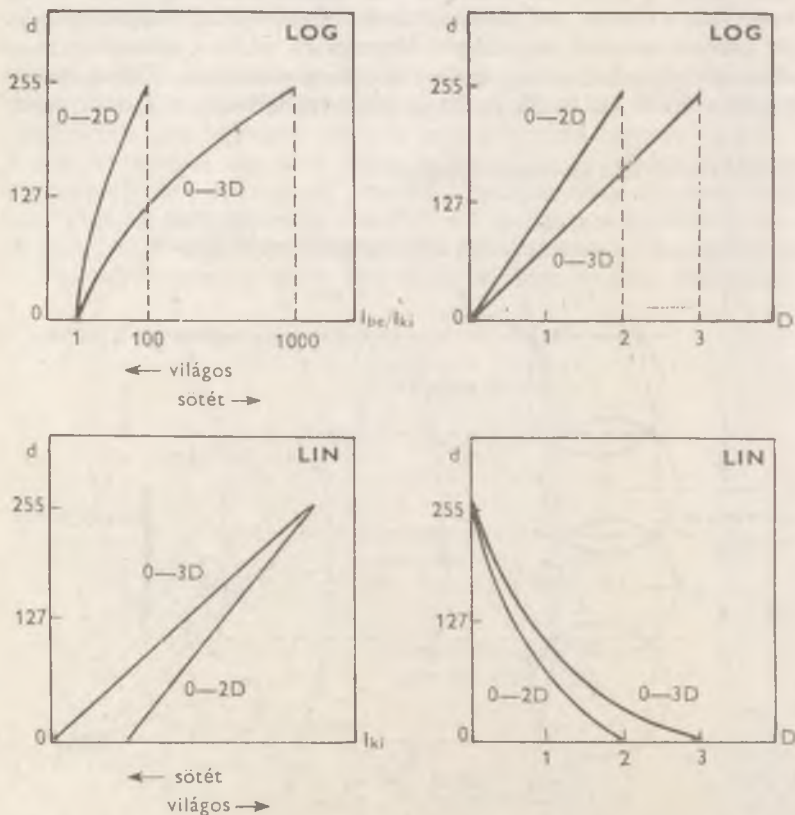
5. ábra. A raszter és a mintavételi távolság



— mivel a ráeső fénynyaláb nehezebben fókuszálható — csak $100\text{ }\mu\text{m}$ -t használhatunk. Megjegyezzük, hogy az Optronics a speciális csillagászati igényeket jobban kielégítő síkasztalos digitalizálókat is forgalmaz — pl. Specscan —, kisebb ($1\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$) mintavételi távolsággal, és nagyobb ($0\text{--}4D$) mérési tartománnyal. Az M83 galaxissal kapcsolatos feladat során ilyen berendezést alkalmaztak.

Két üzemmód (LOG/LIN), továbbá két méréshatár ($2D/3D$) között választhatunk. *Logaritmikus üzemmódban* a berendezés a beeső és a kilépő, illetve visszavert fényintenzitás logaritmusát méri, míg *lineáris üzemmódban* a Colormation által mért számérték (d) a kilépő, illetve a visszavert fényintenzitással arányos. Szemléletesebb a kép, ha a digitalizálással nyert d számértéket a D fényképi denzitás

6. ábra. A LOG/LIN, és a $2D/3D$ kapcsolók szerepe



$$D = \log \frac{I_{\text{be}}}{I_{\text{ki}}}$$

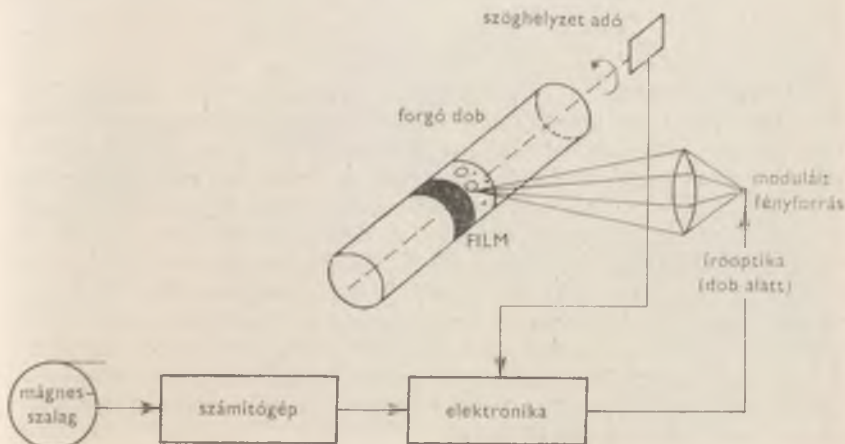
függvényében is ábrázoljuk (6. ábra). A logaritmikus üzemmód a 0—2D és a 0—3D mérési tartományban is *egyenletes* denzitáselkülönítést biztosít. A lineáris üzemmód a denzitás függvényében *exponenciálisan csökkenő* denzitásátvitelt jelent. Jó elkülönítést ad világos képekre, míg a sötét területeket egybemossa.

A digitalizáláshoz szükséges idő a mintavételi távolságtól és a kép „szélességétől” (dob alkotó irányú méretétől) függ elsősorban. A kép „magassága” (dob kerület irányú mérete) a feldolgozási időt kevésbé befolyásolja. Egy 10×10 cm méretű kép 50 μm-rel történő digitalizálása pl. 10 percet igényel. Ha a mintavételi távolságot a felére csökkentjük, az idő duplázódik, a keletkező adatmennyiség pedig négyszeres lesz. Színes képek digitalizálása esetén a digitalizálást háromszor kell elvégezni az R (vörös), G (zöld) és B (kék) szűrőkön keresztül. A berendezés ±2 μm/cm-es pozicionálási pontossága biztosítja, hogy a kapott számhármak a képnek nagy pontossággal ugyanazt a területét jellemzik.

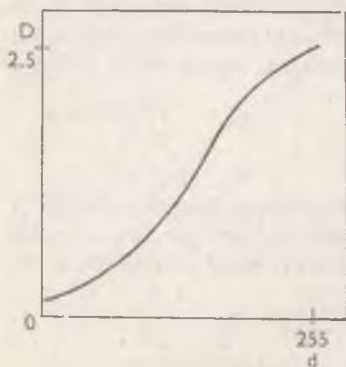
A képviszaállítás

a tengelyről leválasztható kazetta dobjára helyezett filmen történik (7. ábra). A maximális képméret itt is 23×23 cm. A képviszaállításhoz két fényforrás áll rendelkezésre: az additív színkeveréssel létrehozható szí-

7. ábra. A Colormation képviszaállító része



nes képhez csak a fehér fényű villanócső használható, míg a fekete-fehér munkára a sokkal hosszabb élettartamú, vörös fényű világító dióda (LED) szolgál. A megvilágító fényforrás által kibocsátott (és a digitális információval modulált) fény a dob alatt elhelyezkedő *íróoptikán* át ráesik a forgó dobon rögzített filmre. A dob minden fordulata során a filmen egy-egy palást menti képsor jön létre. A dob körbefordultával a léptetőmotor a beállított raszternek megfelelően továbbviszi a megvilágító optikát, ezzel lehetővé téve a következő képsor expozícióját. Az exponálás során kapott denzitásértékek (D) és az input számértékek (d) közötti kapcsolatot a denzitometriából ismert görbe írja le (8. ábra). Háromféle írássűrűség és raszter választható: 25, 50 és 100 μm . Színes kép előállítása a képi adatrendszerek — az ún. kép file-ok — és a szűrők megfelelő egymáshoz rendelésével, háromszori műveletet jelent.



8. ábra. A Colormation által exponált számérték és a denzitás összefüggése

A vezérlőprogram a különböző adatátviteli funkciók (digitalizálás, képviSSzaállítás, feliratozás, tesztábrakészítés stb.) mellett az ún. *átviteli karakterisztikával* definiálható képátalakítást is elvégzi, mind digitalizáló, mind képviSSzaállító üzemmódban. Az átviteli karakterisztika egy olyan 256 elemű számsor, melynek elemei rendre megmutatják, hogy a felhasználó a 0-tól 255-ig terjedő *bemeneti* intenzitásértékeket milyen *kimeneti* értékekre kívánja módosítani. Az átvitmódosítással a képen az előzőekben részletezett *információkiemelő műveleteket* lehet elvégezni (denzitásszeleltetés, lineáris és nem lineáris kontrasztfokozás és színkódolás). A 2. ábrán bemutatott függvények konkrét alakja mindig az adott képen elvégzendő feladattól függ. Az átviteli karakterisztika meghatározása a vezérlőprogram szolgáltatásai között szereplő hisztogram (denzitáseloszlás) alapján történik.

Távlati terveink között szerepel a Colormation-rendszer bővítése, mely által lehetőség nyílik az LSI—2 vezérlő számítógépen, magas szintű programnyelven írt felhasználói programok futtatásával az igényesebb képfeldolgozási feladatok elvégzésére is.

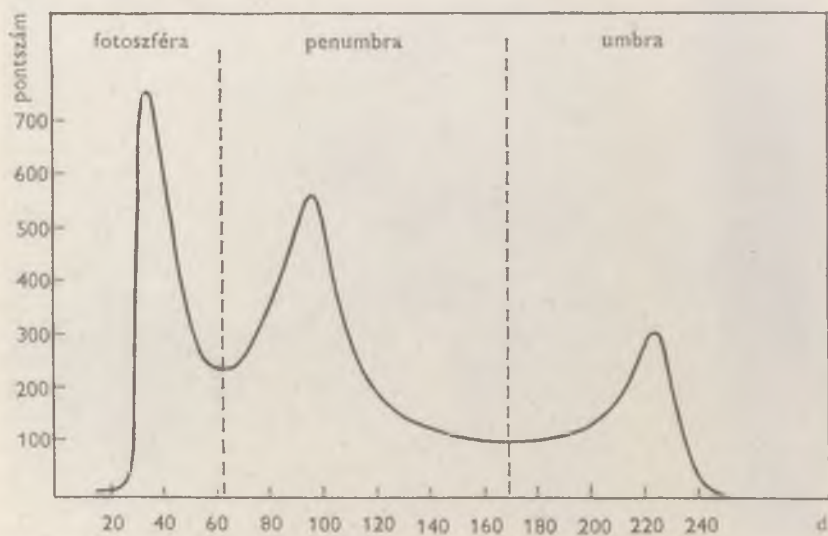
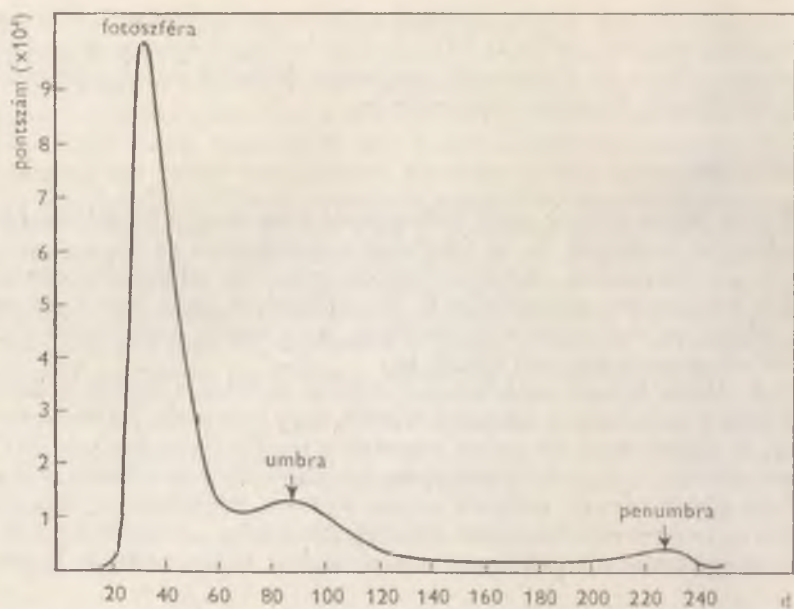
Eredmények

Cikkünk végén néhány saját, csillagászati vonatkozású képfeldolgozási eredményt mutatunk be. A feladatok megoldásához a Colormation-en kívül igénybevettünk nagyszámítógépen futó (nem csillagászati feladatokra kifejlesztett) programokat is. Hangsúlyozzuk, hogy célunk csupán az előzőekben elmondottak illusztrálása, így a kapott eredmények részletes interpretálására nem térünk ki.

A 9. ábrán látható napfoltcsoport-felvétel esetében a feladat az *ábrázolt umbra, penumbra és fotoszféra objektív, nagy pontosságú szétválasztása* volt. A digitalizálást $50\text{ }\mu\text{m}$ -rel végeztük a 0—3D tartományban, LOG üzemmódban. A digitalizálással nyert denzitásértékek eloszlására három csúcsú görbét várunk, melynek csúcsai rendre a fotoszférát, a penumbrát és az umbrát reprezentálják. Feltételezhető, hogy a határokat jelentő fényességértékek a hisztrogram minimumaival kijelölhetők. A kapott

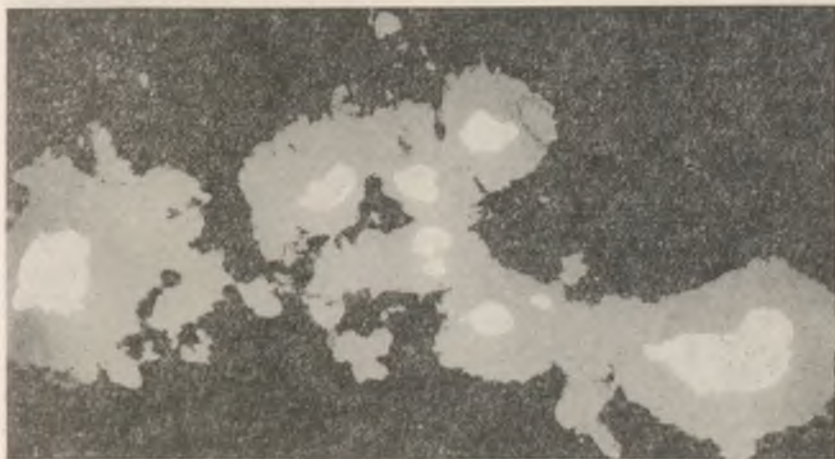
9. ábra. Bonyolult napfoltcsoport felvétele (1980. november 11. $9^{\text{h}} 00^{\text{m}} 08^{\text{s}}$ UT)
(Az MTA Napfizikai Obszervatóriuma megfigyelési anyagából)





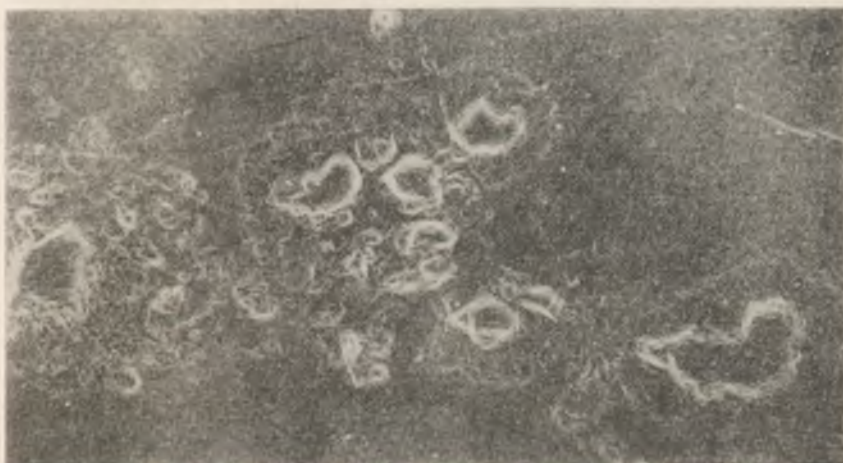
10/a. ábra. A 9. ábrán látható napfoltcsoport-felvétel digitalizálásával nyert denzitáseloszlás — balra, felül

10/b. ábra. A 9. ábra jobb alsó sarkában található napfolt denzitáshisztogramja, és az alapján megállapított döntési határok — balra, alul



11. ábra. A napfoltcsoport-kép feldolgozása három szintes denzitásszeleteléssel. Fekete: umbra, szürke: penumbra, fehér: fotoszféra

12. ábra. A napfoltcsoport-képből kapott negatív gradiens kép. A kontúrok feketedése arányos az adott helyen érvényes denzitásváltozással



hisztogramon (10/a. ábra) azonban *csak a területileg domináns fotoszféra jelenik meg határozottan*. A másik két csúcs (és a csúcsok közötti minimumok) meglehetősen határozatlanok. A határok megállapítása érdekében elkészítettük egy olyan képrészlet denzitáseloszlását is, melyen a három kategória közel azonos területtel szerepel. A 10/b. ábra *egyetlen folt* hisztogramját mutatja, melyen a három csúcs már igen határozottan megjelenik. A fotoszféra—penumbra fényességhatár így a két csúcs közötti éles minimummal kijelölhető. Nem ilyen egyértelmű azonban a helyzet a penumbra—umbra átmenettel, mivel a hisztogram e két csúcsa közötti „völgy” mintegy 70 egységnyi hosszú. Több próbálkozás után a határt a 10/b. ábrán láthatóan választottuk meg. E határokat felhasználva készítettük el a kép három szintes, denzitásszeletelt feldolgozását (11. ábra).

Az összehasonlíthatóság kedvéért bemutatjuk ugyanennek a képnek egy más jellegű feldolgozását is. Az ún. *gradiens kép* számítása során minden egyes képpont 3×3 -as környezetét vizsgáljuk. Az eredménykép pontjainak denzitásértéke arányos a pont környezetének (sor vagy oszlop menti) denzitásváltozásával (12. ábra). Látható, hogy a fotoszférán belül gyakorlatilag nincsenek változások. A külső, gyengébb kontúrvonalak megjelenése lényegében egybeesik a denzitásszeleteléssel kijelölt fotoszféra—penumbra határral. A belső, erősebb változások ismét „sima” területeket határolnak: az umbrát. Megállapítható továbbá, hogy a 11. ábrán penumbrának osztályozott terület denzitása az umbra közelében erősen, attól távolabb gyengébben változik.

A következő feladatot szintén a napfizika területéről vettük. A VI. táblán látható *kromoszféra-felvételsorozat* három képét a Doppler-eltolódások értelmezéséhez egyszerre kell vizsgálni. Ezt a munkát lényegesen megkönnyítené a három felvételt egyesítő *színkompozit*.

A kompozit elkészítéséhez gondoskodni kellett a felvételek digitalizálás előtti lehető legjobb illesztéséről, mivel — bár ez a feladat is megoldható digitálisan — ilyen programmal jelenleg még nem rendelkezünk. A digitalizálás után a megfelelő színegyensúly biztosítása érdekében az egyes képek jelentősen eltérő denzitástartományát megegyezővé, és a használt színes filmnek megfelelővé kellett transzformálni. Az eredményül kapott hamis színes kompozit kép (VII. tábla) elemzésével a kromoszféra folyamatok látósugár irányú sebességeire lehet következtetni.

Utolsó példánkban egy távcsővel készített *holdfelvétel* feldolgozását mutatjuk be. A feladat: a felszíni fényességkülönbségek fokozása segítségével a fotogeológiai egységek lehatárolása.

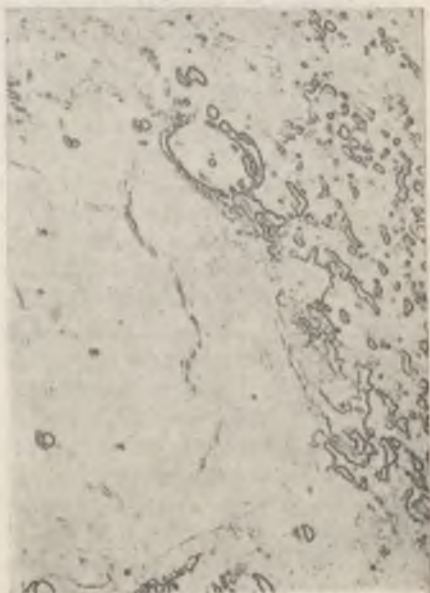
A viszonylag alacsony kontrasztú képet a 0—2D tartományban digitalizáltuk, majd kontrasztfokozást hajtottunk végre. A 13/a. és 13/b. ábrákon összevethető a feldolgozatlan és a kontrasztfokozással nyert kép. (Sajnos a papírmásolás gyakran tompítja a filmen nyilvánvaló



a



b



c

13. ábra. A Hold Mare Serenitatis vidékének keleti fele. Középen fent a Posidonius kráter látható. Digitalizált, módosítás nélkül visszaállított kép (a), kontrasztfokozással előállított kép (b), kontúrozott negatív (gradiens) kép (c)

különbségeket. Ezért az interpretációt — ha csak mód van rá — célszerű a filmen végezni.) A 13/c. ábrán látható kontúr- (gradiens) kép a részletek elhagyása révén a fényességváltozásokra irányítja a figyelmet. A kontúrhelyek sűrűsége a domborzat mintázatára, változatosságára utal.

A VIII. táblán bemutatott színkódolásos feldolgozás jól példázza az alkalmazott egyszerű módszer előnyeit és hátrányait is. A felszíni fényesség különböző fokozatait színekkel helyettesítve *árnyékmentes megvilágítás* esetén valóban egyértelműen a felszínen levő kőzetekre tudnánk következtetni. Zavart okoz azonban a nagy területet ábrázoló felvételen a változó megvilágítási szög, és a változatos domborzat következtében fellépő árnyékhatás, mivel így módon a valóságban *eltérő* tónusú objektumok is *hasonló* szürkeséggel jelennek meg a felvételen, ami a viszonylag kevés színt tartalmazó színkódolt képen *azonos* színt eredményezhet.

A vázolt zavaró tényezők ellenére élesen különválnak a mare-területek peremvidékén húzódó lávatakaró. Sőt, a belső mare-területen a fekete-fehér képen csak igen gyengén látható kőzetkülönbségek is jól kirajzódnak. A fiatal becsapódási kráterek körüli kidobott, friss takaró szintén élesen elüt a környező, konszolidált mare-rétegek anyagától.

Köszönetet mondok ifj. Kálmán Bélá-nak és Bérczi Szaniszló-nak a felvételi anyag rendelkezésemre bocsátásáért, és a feladatok megfogalmazásában az eredmények értelmezésében nyújtott segítségért, továbbá Remetey Fülöpp Gábor-nak, a szűrőprogram használatáért.

CSILLAGÁSZAT ÉS RÉGÉSZET

Fogalmi és történeti áttekintés

A csillagászat (asztronómia) és a régészet (archeológia) az első pillantásra két, egymástól távoli, és egymással semmiként össze nem kapcsolható tudományág. Ez azonban csak látszat. *A csillagász is, a régész is az idő távoli mélységeit kutatja.* A régész a Föld mélyébe ásva hatol minden méterrel mélyebbre a múltba, a csillagász pedig a tér különböző mélységeiből indult csillagfényeket gyűjt műszereibe: minél távolabbi objektumokat vizsgál, annál nagyobb mélységeibe nyúl vissza az időnek. Például azok az extragalaxisok világában megfigyelhető jelenségek, amelyekről tudomást szerzünk, millió vagy milliárd évekkel ezelőtt játszódtak le. Így a *mu* látott jelenségek alapján az Univerzum *régmúlt* állapotára következtethetünk. Ez az a közös alap — az idő fogalmának e hasonló felfogása —, amely a két tudományágat összekapcsolja. A régész tevékenysége oly mértékben hasonlít a csillagászéra, hogy bizonyos határon túl (pl. az emberi faj életének kezdetéig, vagy az azt megelőző időkgig eljutva) már maga is a *kozmoszus időskála* felé közelít, és végső fokon kutatási adataiból a Földnek mint égitestnek a múltjára is visszakövetkeztethet.

Nem véletlen tehát, ha a Föld egy-egy jellegzetes táján régészek, csillagászok és geológusok dolgoznak együtt. Az ilyen együttműködés szükségessége az utóbbi években egyre inkább nyilvánvalóvá vált.

A *csillagászati régészet* vagy *archeoasztronómia* fogalmát — úgy, ahogy azt napjainkban értelmezzük: mint a csillagászat és a régészet együttműködésének és egymásra hatásának sajátos formáját — Gerald S. Hawkins angol csillagász teremtette meg a különböző őskori struktúrák tanulmányozása során. Kutatásaiból főként a *Stonehenge-re*, a világ legnagyobb és legérdekesebb megalitikus kőépítményére vonatkozó eredmények és adatok váltak világhírűvé. Ennek a különös építménynek az az egyik legjellemzőbb sajátossága, hogy egykori építői a nyári napforduló napjának (június 22.) napkelte irányára tájolták. De megállapíthatók voltak segítségével az ún. kritikus holdkelte és napkelte irányok is, amelyekből a fogatkozásokra lehetett következtetni. Hawkins vizsgálatai során rámutatott: e nagyszerű építmény nem csupán fejlett csilla-

gászati és építészeti érzékről tesz tanúbizonyságot, de a kőkorszaki társadalom értékrendjének megbecsülésére is lehetőséget nyújt. E társadalom, amely legkevesebb másfél millió munkanapot szentelt egy ilyen, az égi jelenségek ismeretének pontosítását célzó fizikai laboratórium megépítésére, nem nevezhető primitívnek. Bár tárgyunk szempontjából a Stonehenge is egyik találkozó helye a csillagászoknak és a régészeknek, részletes elemzésével nem foglalkozunk; annál is inkább, mert az utóbbi években több tanulmány és könyv is foglalkozott a Stonehenge csillagászati vonatkozásaival.* Ezúttal csak utalunk arra, hogy éppen a Stonehenge volt az egyik legelső ősi építmény, amely a két tudományág képviselőinek együttműködését igényelte.

Az építmény már említett legjellemzőbb tájolási sajátosságát egyébként már az 1740-es években felismerte és publikálta William Stukeley, így azt is elmondhatjuk, hogy — mint gyakorlat — nem egészen új keletű a csillagászati régészet.

Hasonló módon az azték ún. posztklasszikus kultúra csillagászati megfigyelő helyeiről már az *első spanyol hódítók* is beszámoltak. Őket azonban elsősorban az építményekben megnyilvánuló sajátos építészeti megoldások érdekelték. A mai Mexikó területén volt, és városállamok szövetségén alapult azték birodalom népei jelentős építő- és iparművészetet hoztak létre. Lépcsőzetes gúlák formájában épített naptemplomaik, fejedelmi palotáik, geometrikus ornamentikával díszített építményeik, festményeik stb. ma is sok munkát adnak a kutatóknak.

Ha csak a legfontosabb tudományos publikációk szerzőit sorolnánk is fel, akkor is tekintélyes terjedelmű névsorhoz jutnánk, olyan kutatók neveihez, akik már a *századforduló körül* is foglalkoztak a régészeti feltárások csillagászati vonatkozásaival.

Később az USA délnyugati része indiánjainak életét tanulmányozó etnográfusok közöltek adatokat a pueblo indiánok csillagászati gyakorlatairól, és olyan ceremóniális szokásaikról, amelyeknek csillagászati összefüggéseik vannak. Néhány lelőhelyet részletesen fel is tártak. Komoly előtanulmánynak számít a csillagászati régészet mai gyakorlatához Reymann munkássága, aki 1970—72 körül *indián csillagászati megfigyelő helyeket épített újjá* az eredeti helyükön!

A csillagászati régészet mai gyakorlatához tehát alapos előtanulmányok vezettek. Ugyanakkor régészt és csillagászt egyformán foglalkoztatja a kérdés: *miért érdekelte az ősi korok emberét az égbolt, és miért figyelte jelenségeit?* Ha úgy vesszük, hogy a Stonehenge és a hozzá hasonló megalitikus köépítmények a legkezdetlegesebb obszervatóriumoknak tekint-

* L. pl. Panyik I. — Sellei S.: „Stonehenge” (Corvina, 1975) vagy Fred Hoyle: „Stonehenge-től a modern kozmológiáig” (Magvető, Gyorsuló idő sorozat, 1978)

hetők, akkor a kérdés túlmutat önmagán. Mi volt az a *társadalmi igény*, ami az ilyen obszervatóriumok létesítését *akkoriban* szükségszerűvé tette?

Az adatok túlnyomó többsége szerint a horoszkopikus asztrológia őseinek, az ún. „*judiciális asztrológiának*” a művelése, amelynek gyökerei messze mélyebbre nyúlnak az időben, mint az építmények története. Emellett az asztrológiának ez az ága sokkal régebbi eredetű, mint a személyi horoszkópok készítésének szokása. A judiciális asztrológia népek, települések, később városok, nemzetek és kormányok *közvetlen jövőjét* „jósolta” meg a természet szokatlan, irreguláris jelenségeiből — nyilvánuljanak meg azok akár az égbolton, akár az újszülött állatokban, akár a juhok belső szerveinek elváltozásában. A természet és az élet valamennyi jelenségéből következtetéseket vontak le: a villámlás, a vízszint emelkedése, az állatok viselkedése stb. mind olyan előjelek voltak, amelyekből az egyes ember vagy a közösség életét befolyásoló eseményekre következtettek. Ennek az előjel- vagy *ómenjóslásnak* a legsokoldalúbb változatával Babilóniában találkozunk. Felfigyeltek a *szokatlan égi jelenségekre* is. Ezek felismeréséhez azonban az égi jelenségek *normális* menetét is ismerniök kellett, vagyis rendszeresen figyelniök kellett az égboltot, a Nap, a Hold, a bolygók és a csillagok járását. A kizárólag az égitestek helyzetéből és azok „előre jóslásából” kiinduló és arra épülő horoszkopikus asztrológia csak ezután fejlődött ki. Létezésére csak az időszámításunk előtti második és harmadik századtól vannak hiteles adataink.

Mindezek mellett a régi népek majdnem mindegyikénél megtalálhatók a törekvések: meghatározni az évszakok kezdetét, a Hold fázisváltozásait és a fogyatkozásokat. E legfontosabb igények részben mindennapi szükségletet elégítenek ki (pl. naptárkészítés), részben vallási, rituális jellegűek.

Így azután a csillagászati-régészeti kutatások alaptémái jórészt előre adóttak. Bizonyosak lehetünk benne, hogy mindazon kultúrák, melyeknél felismerhető, hogy ilyen vagy olyan célzattal, de meg tudták „jósolni” az égitestek (vallási színezetben ezek gyakorta a csillagistenek) útját, jobban boldogultak az e képességek hiányát mutatóknál.

Az építmény jellegű megfigyelőhelyek, kezdetleges obszervatóriumok megjelenése már bizonyíték a rendszeres pozíciós csillagászati megfigyelésekre. Az égi jelenségek közül éppen ez, az *égi mozgások megfigyelése és előrejelzése* az, amely valamiféle obszervatóriumot, mindig ugyanazon a helyen álló, azonos észlelési körülményeket és vonatkoztatási pontokat nyújtó építményt igényel. Gyakran nem több ez egy tiszta, kiemelkedésektől nem zavart fennsíknál, és néhány — a Nap, a Hold és a fényesebb csillagok kelési és nyugvási irányainak a látóhatáron való kitűzéséhez szükséges — fánál vagy oszlopnál. És így jutunk el az égi jelenségek puszta észrevételétől (esetleg azok kezdetleges ábrázolásaitól) a rendsze-

res megfigyelések korszakáig. És így természetes az, hogy a régészet igen fontos adatokat nyújt a csillagászatnak, amikor csillagászati jelenségekre utaló ábrákat, karcolatokat tár fel. Ezek igen gyakran a jelenségek időpontjának azonosításához vezethetik a csillagászatot.

Elsőként ezzel a kérdéskörrel foglalkozunk.

Csillagászati jelenségek időpont-azonosítása régészeti leletek alapján

A csillagász számára elegendő, ha a régészet olyan feltárásokat produkál, amelyekből nyilvánvaló, hogy az ősi társadalom *észrevette, látta és feljegyezte (ábrázolta), tehát megörökítésre méltónak találta az égi eseményt.* Az ilyen jellegű régészeti leletek az égboltot általában csak szórványosan figyelő — annak jelenségei közül csak a különösen feltűnőekre és szokatlanokra felfigyelő — népek és törzsek hagyatékaiból kerülnek elő. Ilyen különösen látványos égi jelenségek például a

szupernóva-fellángolások.

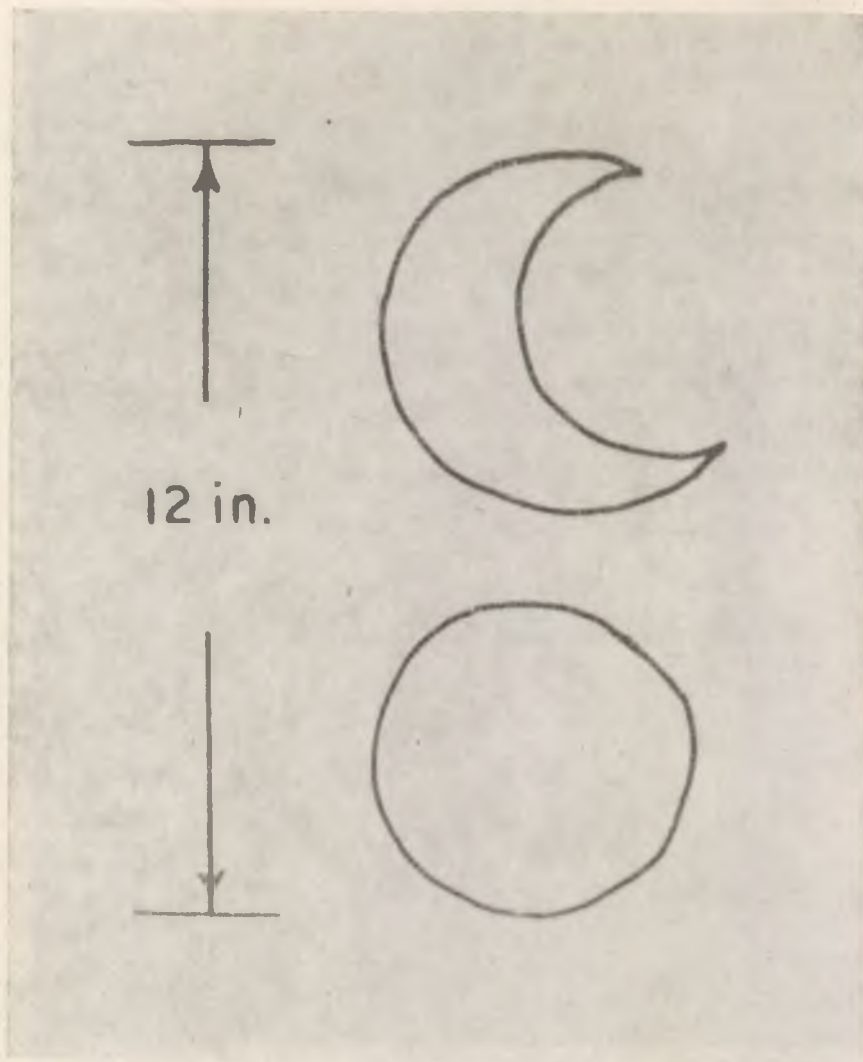
Mai ismereteink szerint szupernóva-fellángoláson általában az életük végéhez közeledő, „öreg” csillagok eshetnek át. Ezekben a robbanás során a napenergia milliárdszorosa is felszabadulhat. Helyükön rendszerint táguló gázködöket, ún. szupernóva-maradványokat találunk. Ezek szálas szerkezetű, tágulási sebességüket illetően mérhetően szétszóródó, általában erős röntgen- és rádiósugárzást is mutató objektumok. Tejútrendszerünkben általában évszázadonként egy szupernóva-fellángolással számolhatunk, de látni csak azokat látjuk, amelyek a Tejútrendszer centrumán innen, tehát felénk közelebb esnek. Jelenleg mintegy két tucat szupernóva-maradványt ismerünk. Írásos emlékeink pedig a legutóbbi időkig mindössze négy szupernóva-fellángolásról tesznek említést.

Elsőként a Lupus csillagképben, 1006-ban fellángolt, körülbelül a Vé-nusz bolygó fényességéig felerősödő, és több mint egy éven át látható szupernóvát jegyezték fel az ősi arab, japán és kínai krónikák. E krónikák alapján tudjuk, hogy 1006 áprilisának végén tűnt fel. Maradványa ma erős röntgen- és rádióforrás.

A másik, már a nagyközönség által is jobban ismert szupernóva a Taurus csillagképben lángolt fel, és ma a Rák-ködként számon tartott szupernóva-maradvánnyal azonosítható. A kínai krónikák szerint az 1054-es szupernóva július 4-én, a *Thienkuantól kissé délkeletre* tűnt fel, mint „új csillag”. Ez a hely nagyjából a mai *Zéta Tauri helyével azonos.* A feljegy-



1. ábra. A White Mesa sziklarajza az 1054-es szupernóváról



2. ábra. A Navaho-kanyon sziklarajza az 1054-es szupernóváról

zések szerint 23 napig a nappali égbolton is látható volt, és mintegy két éven át lehetett szabad szemmel is megfigyelni az éjszakai égbolton.

E szupernóva azonosításában érdekes módon játszott közre a régészet: *a Navaho-kanyon különös sziklarajzaiban, az arizonai indiánok egykori „feljegyzéseiben” felismerte, hogy ezt a szupernóvát ábrázolják.* Az ide vonatkozó csillagászati vizsgálatokat William C. Miller, a Palomar Observatórium kutatója végezte.

Ebben az esetben az időpontazonosítás utólagos volt, korábbi ismereteink kiegészítését szolgálta, hiszen a fellobbanás időpontját már ismertük. Nem volt azonban tudomásunk arról, hogy az észak-amerikai indiánok is észlelték, mint ahogy általában csak a legutóbbi évek kutatásai derítettek fényt arra, hogy az indiánok csillagászati ismeretei alapsabbak voltak, mint azt korábban gondoltuk.

Az első rajzot a *White Mesa* nevet viselő meredek sziklafennsík egyik beszakadt barlangjának falán, a másodikat pedig a közeli Navahokanyonhoz szorosan csatlakozó árokrendszer oldalfalán találták. Mindkét rajzon egy félhold és egy kör látható. A holdsarló ábrázolása önmagában is figyelemre méltó, mert az ősi indián sziklarajzokon rendkívül ritkán fordul elő. A két rajz nem pontosan egyforma. Az első rajzon a kör elfedi a sarló egy részét, a másodikon a korong a félhold alatt helyezkedik el.

Hosszas kutatás és számos lehetőség megvitatása után úgy találták a szakértők, hogy a rajz valamilyen feltűnő égi jelenséget, leginkább egy fényes csillag (szupernóva) Holddal való együttállását illusztrálja. G. Neugebauer, a Kaliforniai Műszaki Egyetem (Caltech) kutatója elvégezte az 1054. júliusi és augusztusi holdpozíciókra vonatkozó számításokat, miután azt kellett eldönteni, hogy a rajzok készítésének helyéről nézve hol látszott az égen, és milyen fázisban volt a Hold. A számítások alapján megállapították, hogy *1054. július 4-én a Hold valóban a sziklarajzon ábrázolt fázisban, a keleti égbolton volt látható, július 5-én pedig hajnali 3 órakor mindössze két fokra volt a szupernóvától!* Így csaknem teljes-séggel bizonyos, hogy a rajzok a Hold és a szupernóva együttállását ábrázolják.

Régészeti kormeghatározási eljárásokkal sikerült kétséget kizáróan azt is megállapítani, hogy ez a környék a szupernóva láthatósága idején valóban *lakott vidék volt.* A helyszínen megtalált és feltárt cserép- és törmelékanyagok három rétegben helyezkedtek el. Mintegy 21 százalékuk a 900 és 1100 közötti évekből származott. Minthogy Arizonában az eróziónak gyakorlatilag szinte semmi szerepe nincs a felszín alakításában, a rajzok helyén a látóhatár szinte semmit sem változott azóta.

A feljegyzés értékét csak növeli az a tény, hogy erről a rendkívül látványos jelenségről *az európai írásos feljegyzések egyáltalán nem tesznek említést,* mint ahogy a többi ismert szupernóva-fellobbanás sem szerepel az

európai krónikák adatai között! Ez azért is meglepő, mert az 1066-ban, tehát a szupernóva feltűnését követő tizenkettedik évben látható nagy üstökösről részletes feljegyzések maradtak vissza Európában is. A beszámolók hitelességét a szupernóva-maradvány csillagászati vizsgálatai erősítették meg, amikor megállapítást nyert, hogy a jelenleg is táguló köd anyagának a tágulási sebességét alapul véve, annak 1054-nél nem régebben még a mai köd centrumában kellett lennie. Ez az adat nagyon jól egyezik a krónikák adataival.

A Tejútrendszerünkben feltűnt két újkori szupernóvát alaposan tanulmányozták a korabeli csillagászok. Az 1572-ben feltűntet Tycho Brahe, az 1604-ben fellángolót pedig Johannes Kepler is megfigyelte Prágából.

A Gum-köd és a régészet

A Gum-köd problémája egészen új keletű. Ez olyan égi objektum, amelynél jelenleg is régészeti segítségre várnak a csillagászok. Valójában egy vélt szupernóva-maradvány. Találni kellene olyan régészeti adatot, amely a fellobbanás időpontját meghatározná.

A déli éggömbön levő, a Vela és a Puppis csillagképek területére eső ködöt felfedezőjéről, Colin S. Gum-ról nevezték el. Csillagászati szempontból rendkívül vitatott objektum. Gum úgy véli, hogy a köd egy, a közelben vagy éppen a ködben levő csillag által ionizált hidrogénfelhő. Mások nagyon régi szupernóva-maradványnak tartják, amely éppen a nagyon hosszú ideje tartó tágulás miatt mutat erősen diffúz jelleget. Stephen Maran és John C. Brant úgy véli, hogy a szupernóva-maradvány a mai köd centrumában levő igen erős Vela—X jelű röntgenforrás, amely elegendően nagy energiát sugároz szét ahhoz, hogy ionizálja a felhő hozzá közel eső részeit. Így ez a köd nem a hagyományos értelemben vett szupernóva-maradvány, hanem indirekt úton keletkezett volna, a szupernóva-robbanás után. Ha így van, akkor a ködnek sokkal rövidebb életűnek kellene lennie, mint a nála jóval kisebb szupernóva-maradványok. A szabad elektronok ugyanis fokozatosan rekombinálódnak a hidrogénionokkal, és így a ködnek fokozatosan vissza kellett volna térnie a neutrális állapotba. Mivel a régió még erősen ionizált állapotban van, a szupernóvának — csillagászati értelemben — szinte a legutóbbi pillanatokban kellett fellobbannia: a számítások szerint körülbelül 11 000 évvel ezelőtt!

És ez az a pont, ahol a régészet felbecsülhetetlen adatokkal szolgálhatna a csillagászatnak, ha valamilyen mezopotámiai vagy afrikai őskultúra kb. i. e. 9000-ből származó feljegyzését, rajzát megtalálná egy szupernóva-fellángolásról! (Ezekről a vidékekről ugyanis jól látszik a Vela csillagkép.)

A várakozás nem reménytelen, mert az említett vidékeken élő régi népek számos barlangrajzot és barlangfestményt, illetve sziklarajzot hagytak hátra.

Régészeti feltárások értelmezése a csillagászat közreműködésével

Számos olyan terület van, ahol a régészet a csillagászati adatok révén haladhat előre. A régész egyik legfontosabb igénye és állandó segédeszköze is a *kronológia*. Itt nem csupán a már meglevő kronológiai rendszerek alkalmazását és állandó tökéletesítését, hanem egy teljesen megbízható, ún. *abszolút kronológiai rendszer kidolgozását* várja a régész a csillagászat-tól.

Az abszolút kronológiai rendszer igénye a régészetben

Egy régészeti helyszín (feltárás), tárgy vagy eszköz korának meghatározására manapság számos, egymástól független módszer áll rendelkezésre. Ilyen például az eszközökön és építményeken megnyilvánuló forma- és díszítésváltozások — amelyekben bizonyos egymásutániség érvényesül — vizsgálata. Lényegesen pontosabbak a mérésekkel igazolt, fizikai jelenségekre és törvényszerűségekre alapozott kormeghatározási eljárások, így a szénizotópos eljárás, vagy az ún. dendrokronológiai módszer alkalmazása. Bizonyos határok között pontosnak nevezhető a faévgyűrű-módszer is.

Az egyik legújabb kormeghatározási eljárás már nem annyira fizikai, mint inkább biológiai törvényszerűségeen alapszik. Ez az *aminosavas módszer*, amelyet Jeffrey L. Bada dolgozott ki. Eljárása azon alapul, hogy az aminosavak két ún. tükröképszerű formában létezhetnek, mégpedig bal- és jobbkézszimmetrikusan, L- és D-izomerek formájában. Élő szervezetekben, illetve proteinekben csak az L-izomerek találhatók. Ezek azonban egy adott szervezet elhalását követően fokozatosan átformálódnak D-izomerekké, és ez a rekemizációs folyamat egészen addig tart, amíg az L- és D-izomerek aránya az elhalt szervezet maradványai-ban 1:1 lesz. Minthogy a mindenkori arány mérhető, meghatározható egy adott lelet kora is. Az 1:1 arány kialakulásáig több százezer év telik el. Így Bada szerint a kövületek életkora ezzel a módszerrel még a szénizotóp módszernél is pontosabban mérhető. A folyamatot csupán a lelet környezetének hőmérséklete befolyásolja, de Bada egy ún. hőmérsékleti kalibrációs állandót is kidolgozott a számításokhoz. Tény, hogy e módszer alkalmazásával derült fény arra, hogy Észak-Amerika és annak nyugati partjai már 48—50 000 évvel ezelőtt is lakottak voltak!

Gyakran fordul elő, hogy a régészek különböző módszerekkel különböző értékeket kapnak a talált leletek korára. Feltétlenül szükséges tehát, hogy valami módon összefüggésbe hozzák a különböző kronológiai adatokat. Ezen a ponton jut szerephez a csillagászat.

A napfogyatkozások azonos sorrendben követik egymást, az ún. *százrosz-ciklusban*, amely kereken 18 éves. Az egyes napfogyatkozások zónái és időpontjai nagyon pontosan meghatározhatók előre és visszamenőleg is. A látványos — és félelmetesnek ítélt — teljes napfogyatkozások gyakran szerepelnek a különböző krónikákban és feljegyzésekben. Hasznló módon a holdfogyatkozások is. *Egyetlen hitelt érdemlően rögzített fogyatkozási jelenség az egész kultúrát pontosan elhelyezhetővé teszi az időben!* Így bizonyos égi jelenségekkel összefüggő történelmi vagy kultúrhistóriai eseményeket az időben is pontosíthatunk. Erre számos példa van, és a csillagászati kronológia alkalmazásának ez a nagyközönség által is leginkább ismert területe.

A Budapesti Planetáriumban már évek óta rendszeresen visszatérő karácsonyi műsor „A betlehemi csillag” című előadás. A bibliában leírt fényes csillag, amely a bölcseket napkeletről Jeruzsálem felé indította — majd „előttük ment” a Jeruzsálemből Betlehembe vezető úton — csillagászati értelmezésre szorul. A jelenség végül is az i. e. 6-ban bekövetkezett nagy Jupiter—Szaturnusz együttállással magyarázható. Ez, valamint a Heródes halála előtt nem sokkal bekövetkezett holdfogyatkozás (i. e. 4. március 13.) teszi lehetővé, hogy — tekintetbe véve más kronológiai és történelmi adatokat is — Jézus születési évét az időben elhelyezhessük.

Ha egy nép rendszeres krónikákat is vezetett, mint pl. az ősi kínaiak, a csillagászat még több adatot szolgáltathat a régészetnek, és viszont. A bolygók mozgásaira, az üstökösök megjelenésére, a nóvák vagy szupernóvák fellobbanására vonatkozó feljegyzésekből egészen pontos kor meghatározások vezethetők le. Az ilyen adatokat tartalmazó krónikák lényegében már abszolút időskálát jelentenek a csillagászok, a régészek és a történészek számára.

A csillagászat és régészet nagy találkozhelyei

Az egyiptomi Nap- és csillagtemplomok, piramisok

A hagyományos régészet általában az egykori *építményeken* át jut kapcsolathoz a régi korok kultúráival, mert ezek romjaikban is elegendően időtállóak, és tudományos szempontok alapján viszonylag könnyen rekonstruálhatók. A régészet hosszadalmas útvesztőit jelölte az a korszak, amikor számos építményre egyszerűen azt mondták: „ceremoniális jel-

legű”. Ez igen gyakran azt jelentette, hogy a feltárt építményről vagy szerkezetcsopotról a feltáró nem tudta megmondani, hogy micsoda. Hasonló módon gyakran alkalmazták a „templom” megjelölést is egy-egy romra. Ennek a gyakorlatnak az volt az oka, hogy a régészet sokáig önmagába zártan dolgozott, a határtudományok szakértőivel csak ritkán konzultált. Ugyanakkor a külső tudományágak képviselői is gyakran csak a feltárások misztikus vonatkozásai miatt érdeklődtek a régészeti munka iránt.

Norman Lockyer például csillagász létére az egyiptomi „templomok” kérdéseivel kezdett foglalkozni 1890-ben. Az egyiptomi napkultusz ismeretében a közelebről megvizsgált építmények láttán hamarosan kimondta: *az egyiptomi templomok úgy vannak tájolva, hogy az év bizonyos napjain a kelő vagy a nyugvó Nap sugarai végigpárásszázassuk a belső folyosót.*

Ez a felfogás azonban ellentétben állt az akkor élenjáró egyiptológusok véleményével, miszerint a templomok tájolása véletlenszerű, és éppen ez tette tönkre több építmény esetében az egyébként érvényesülő szimmetriahatásokat.

Lockyer viszont úgy találta, hogy a templomok többsége kelet–nyugati irányban fekszik, és ebből már sejtette, hogy a napfordulók idején, illetve azok környékén felvett napkelte és napnyugta irányokat kell vizsgálnia. Kiderítette, hogy *az egyiptomi templomok többségét valóban a nyári napforduló, illetve az év meghatározott napján kelő vagy nyugvó Nap irányára tájolták építésük során.* Ez utóbbi gyakran a fáraó születés-napjának napkelte irányával volt azonos. Ilyen az Abu Szimbel-i nagytemplom is.

Az egyes templomok, például a karnaki Amon-Ré nagytemplom alaprajzának szembeötlő sajátossága az egész építmény hosszában, közel 500 méter hosszúságban végighúzódó keskeny, belső folyosó. Ez a hosszú, keskeny út a templom belsejében *a nyári napforduló napkelte-irányára mutatott,* és jelezte is az esztendőben azt a napot, illetve annak a napnak közeledtét, amikor a Nap a látóhatáron a legészakibb pontban kel fel. Ha valaki e templomba a nyári napforduló napján lépett be, a hajnal egyre növekvő ragyogásától a Nap vakító felfényléséig kísérhette végig a napkelte jelenségét, egészen addig, amíg a napfény a folyosón át elérte a szentélyben álló hatalmas Ré-szobrot, a napisten szobrát. A szentélyben mindössze két percig „tartózkodott” a napfény, és nem is tért oda vissza, csak a legközelebbi esztendő nyári napfordulóján, a napkelte órájában! A templom folyosója tehát lényegében úgy működött, mint egy hatalmas távcső, vagy inkább napóra, amelyen át a hosszán elnyúlt fénysugarat a szentélyig vezették. A fénysugár hosszának a nyári napfordulót megelőző napokon történő növekedése napi ötven másodperces pontossággal jelezte a napforduló napkeltének bekövetkezését. Ennek

nyomán a napév hosszát négy tizedes pontossággal (365,2422 nap) határozták meg. Nem lehet csodálkozni tehát azon, hogy Kleopátra idejében (i. e. 69—39) az egyiptomi naptár a világ legpontosabb kalendáriuma volt! Az egyiptomiak a csillag- és a napév hosszát ugyanis már Kleopátra előtt 3000 évvel is ismerték.

Újabb keletű kutatások révén tudjuk, hogy a világhírű *Abu Szimbel* szentélyt — amelyet szétdaraboltak, és eredeti helyétől távolabb újra felépítettek — annak idején II. Ramszesz születésnapjának napkelte irányára tájolták építői. A beáramló napfény hatvan méter hosszúságban pásztázta végig a belső folyosót, amíg a fáraó óriás szobrára hullt. Ezt a fáraót, még életében, uralkodása harmincadik évfordulóján, i. e. 1250-ben, istenként kezdték tisztelni. (III/1 tábla).

(A napkeletre tájolás szokása egyébként még sokáig fennmaradt, habár csak szimbolikus jelleggel, mert a keresztény templomok többségét egészen a legutóbbi időkig kelet—nyugati irányú tájolással építették, úgy hogy a szentélyek keleti irányban állnak!)

Az egyiptomi csillagtemplomok (valamely kiválasztott csillag kelési vagy nyugvási irányára tájolt építmények) tanulmányozása révén arra is fény derült, hogy az építők észlelték a *precessziós mozgás következményeit is!* Azt, hogy a napéjegylenlőségi pontok a kereken 26 000 éves ciklus alatt lassan körbevándorolnak a csillagos ég háttére előtt. Ugyanígy a csillagok kelési és nyugvási pontjai is elmozdulnak a látóhatár mentén. Lockyer a látszólag teljesen vaktában tájolt egyiptomi templomok vizsgálata során jött rá arra, hogy közülük számosat bizonyos kiválasztott csillagokra tájoltak. Felismerte ugyanis, hogy *számos templomépítményt újratájoltak, reorientáltak.* Erre azért volt szükség, mert a csillagokra tájolt templomok a precessziós mozgás miatt mindössze két-háromszáz évig „működtek”, ezt követően a csillag kelési pontja a látóhatáron oly mértékben mozdult el, hogy — a templom külön erre a célra épített hosszú folyosóján az éjszaka meghatározott órájában kitekintve — a csillag már nem volt látható. A templomot újra kellett tájolni. A luxori nagytemplom esetében négy újratájolást állapított meg Lockyer. Az újratájolás során a templomokat vagy ugyanarra a csillagra tájolták vissza, vagy egy másikra.

Gyakori volt, hogy az újratájolandó templomot lebontották, és újra felépítették. De az is előfordult, hogy a szükséges szöggel elfordítva a régi mellé építették az új csarnokot. Menidet Habuban például egy egymás mellé épült templompárt találtak, melyekről bizonyítható, hogy mindkettőt a Phact (Alfa Columbae) csillagra tájolták, de a második templom a csillag keléspontjának precessziós eltolódása után épült.

3. ábra. A nagybörzsönyi Szt. István-templom (XIII. sz.). A napéjegylenlőségi napkelte irányára tájolt



Lockyer rájött, hogy a fényesebb csillagok precessziós pályáját visszaszámolva a különböző templomok építési ideje nagyjából behatárolható. Megállapította, hogy a templomokat a legkülönbözőbb csillagokra tájolták. Így például a Dubhe, a Capella, az Antares, az Alfa Centauri, a Canopus, a Sirius és a Spica szerepeltek a csillagok között.

Lockyer ismerte fel a gizehi piramisok tájolásában megnyilvánuló csillagászati vonatkozásokat, csakúgy, mint a Kheopsz nagypiramis csodálatos pontosságú tájolását az Alfa Draconisra, a Thubanra: az akkori — vagyis az építés idejekori — sarkcsillagra. Eltekintve a piramisok körül kialakult és erőltetett számmisztikától, az mindenképpen figyelemre méltó, hogy ezeknek az építményeknek a tájolása a fok törtrész pontos ságával történt, pedig a piramisok nagyrészt 15 tonnás kötbömbökből épültek.

A „*piramismisztika*” megteremtői sajnos a csillagászati régészet e nagyszerű megállapításait felhasználva olyan számok és állandók érvényesülését is belemagyarázták a piramisokba, amelyek egyáltalán nem szerepeltek bennük! De más misztikus és tudománytalan megállapítások is születtek a piramisok tájolásával kapcsolatban. Itt csak utalunk arra a dänikeni elgondolásra, hogy a Sirius-kultusz és a Siriusra való tájolás ezredévekkel ezelőtt Egyiptomba érkezett idegen úrhajósoktól származó kultusz és gyakorlat lett volna.

A maja obszervatóriumok

A maják képirását csak 1952-ben fejtette meg J. V. Knorozov szovjet tudós. Így mindaz, amit a maják csillagászati kultúrájáról tudunk, első-sorban építkezéseikből kikövetkeztetett megállapítások, amelyekhez csak az utóbbi időkben társultak az írásos emlékekben rögzített adatok.

Az i. e. harmadik—tizedik század között az Észak-Guatemala és Nyugat-Honduras területén fennállott maja óbirodalom városállamaiban, majd a yucatáni maja újbirodalom városaiban számos romos obszervatóriumot találtak, amelyek a maják csillagászati kultúrájából tanúskodnak. Legismertebbek az Észak-Yucatánban, Chitchen Itzában talált obszervatóriumok, amelyek léteéről a drezdai maja kódex is beszámol. Különösen nevezetes a Chitchen Itza-i Caracol obszervatórium, amelynek első vizsgálója Karl Ruppert volt. Első eredményeit már 1935-ben publikálta. Az alacsony alapon álló hengerszerű építmény a maga nemében egyedüli kupolával és spirális lépcsősorral még mai állapotában is lenyűgöző csillagvizsgáló. Észlelőszobáján három ablakot vágtak, amelyek a napéjegyenlőségek (kelet) és a napfordulók (északkelet és délkelet) napkelte irányára voltak tájoltva (III/2. tábla).

A maják csillagászati ismereteit bizonyító számszerű adatok alapján tudjuk, hogy több naptáruk közül az egyik a tropikus éven alapult, és

hosszát 365 napban határozták meg. Korábban a kutatók úgy vélték, hogy szökőnapok beiktatásával naptárkorrekciót is eszközöltek. Ez azonban nem nyert bizonyítást. Sőt, a másik két naptárunkban a hónapok és az évszakok lassan átfedték egymást, és így a maják „időt veszítettek”. Ezt láthatjuk a 260 napos rituális kalendáriumukból, és az ún. „hosszú számlálás”-ból, amely — a mi Julián-dátumainkhoz hasonlóan — a napok egymásutánjának huzamos számlálása volt. A holdfázisokat papjaik előre kiszámolták és jelezték. 149 holdhónapot 4400 napban határoztak meg. Átlagos holdhónapjuk hossza 29,53020 nap volt, a valóságos 29,53059 nappal szemben!

Fontos szerepe volt csillagászatukban az *uaxactuni épületcsoportnak* is, amelyről tudjuk, hogy a Nap közvetlen megfigyelésére, illetve a napégyenlőségek és a napfordulók előrejelzésére szolgáló obszervatórium volt.

A maja kultúra feltárása még nem fejeződött be. Sajnos a hódítás pusztításai miatt csak kevés írott emlék maradt fenn. Az anyagi kultúra adataiból azonban még számos csillagászati szempontból fontos megállapításra számíthatunk.

A feltárási nehézségekről

A csillagászati-régészeti feltárások során a kutatóknak általában a következő nehézségekkel kell megküzdeniök:

- Nagyon precíz, az égtájakat és irányokat a lehető legnagyobb pontossággal feltüntető térképek hiánya. A csillagásznak gyakran ez az egyedüli információja, különösen, ha a helyszínre nem juthat el.
- Az időközben végrehajtott rekonstrukciós munkák ellenőrzésének nehézsége. Hawkinsnak is nehézségei voltak, amikor kiderült, hogy a Stonehenge néhány ledőlt oszlopát felállították. Az ilyen beavatkozások nagyon megnehezítik az eredeti irányok és pozíciók megállapítását. A szögértékek gyakran „borotvaélen táncolnak”.
- Minden korábbi adatot ellenőrizni kell, még ha évtizedek óta elfogadottak is. Amikor a Teotihuacanbeli „Halottak útja” (Avenue of the Dead) valódi tájolását 1964-ben újra meghatározták, kiderült, hogy bár évtizedek óta úgy szerepelt a térképeken és a szakirodalomban, hogy az 17 fokkal északkeletre halad — a valódi érték 15,5 fok.
- Végül még a szakirodalom tekintetében is igaz, hogy soha nem bízhatunk egy-egy ősi építmény csillagászati vonatkozásairól írtakban, mert különös módon a beszámolók egyre bővülnek. A tömör, tényszerű beszámolók nem hosszú életűek!

A csillagászati régészet és az európai kultúra eredete

Ha a csillagászati régészet eredményeit és adatait vizsgáljuk, arra a következtetésre kell jutnunk, hogy az őskori Európáról alkotott elgondolásainkat jelentősen meg kell változtatnunk. Századunk elején még úgy vélték a kutatók, hogy a nyugat-európai szellemiség teljes egészében kelet-mediterrán eredetű, tehát Egyiptom és Mezopotámia felől, az ottani korai civilizációk bomlásával terjedt észak felé.

Hogy ebben a felfogásban valami nem világos, azt már a nyugat-európai feltárások során talált eszközök kormeghatározási eljárásai is jelezték. Már a hetvenes évek elején kiderült, hogy *bizonyos európai régészeti tárgyak öregebbek, mint a feltételezett származási helyeiken lelt elődeik!* Ez a tény, valamint a megalitikus csillagászat létezése egy független nyugat-európai kultúra jelenlétére utal. A megalitikus kultúra alkotásai helyenként a piramisépítés megkívánta technikával is összemérhető. Senki sem állíthatja, hogy a megalitikus kultúra a fogvatkozás előrejelzéseit idegen népektől vette volna át, mert a mediterrán övezetben a fogvatkozások előrejelzésének technikáját az i. e. hatodik századnál korábban fel sem fedezték.

A felfogás — miszerint a műveltség a keleti kultúrák felől áramlik a barbár perifériák felé — másikkal helyettesíthető. Eszerint északon ekkor már több barbár civilizáció létezik. Különös vonása ennek az új képnek, hogy a megalitikus kultúrák az írástudatlanság mellett is „fejlettek” voltak. A régészet és a kultúrhistoria a kulturális fejlettséget általában az irodalommal és a gazdagsággal azonosítja. E felfogással szemben állnak azok az ősi észak-európai népek, amelyek bizonyos ismeretekben messze meghaladták saját korukat, jóllehet sem írni, sem olvasni nem tudtak.

A kőkorszaki pozíciós csillagászat létezése bizonyítja, hogy az észak-európai őskultúra feltárásában még sok tennivalója van a csillagászatnak és a régészetnek. És ha ezek az elgondolások a későbbiekben véglegesen bizonyítást nyernek, akkor ez lesz a csillagászat és a régészet együttműködésének egyik legnagyobb eredménye.

MARTHA KÜSSNER*
Göttingen

GAUSS MAGYAR TANÍTVÁNYA, AZ EGRI ÉS BUDAI CSILLAGVIZSGÁLÓ IGAZGATÓJA: TITTEL PÁL**

Nem könnyű megfelelni arra a kérdésre, mi vitte a külföldi diákokat valaha Göttingenbe. Gyakran jött divatba egyik vagy másik egyetem gimnáziumi tanárok vagy egy-egy kiváló professzora révén. A világnézeti szempontok is döntőek lehettek. Carl Friedrich Gauss magyar diáktársa, Bolyai Farkas protestáns volt: annyi más svájci és magyar diákkal együtt ő is észak-németországi egyetemre törekedett. A felvilágosodás terjedésével ez az ok veszített jelentőségéből. A Baltikumról csapatostul özönlöttek diákok Münchenbe és Bécsbe***, mert vonzotta őket az ottani kellemesebb élet híre s az Alpok élménye. Ezzel szemben a bajor király Göttingenbe küldte fiait, hogy ott tanuljanak Pütter professzornál államtudományt. A magyar Tittel Pál határozott céllal jött Göttingenbe. Az egri csillagda jövőbeni igazgatójaként úgy gondolta, Gaussnál részesülhet a legalaposabb képzésben.

A Gauss-tanítványok életrajzán dolgozva figyelmemet különösen felkeltették a számomra teljesen ismeretlen Tittelnek Gausshoz írt levelei. Ki volt ez a szeretetreméltó Gauss-tanítvány?

* A szerző, Martha Küssner göttingeni tudománytörténész. 1928-ban végzett a danzigi műszaki egyetemen, matematika—fizika szakon. A Gauss Társaság tagja, s a göttingeni archívumok anyagait kutatva, könyvtártudományi vizsgálatokat folytat, amelyek részint általános tudománytörténeti jellegűek, részint Carl Friedrich Gauss életét dolgozzák fel. Két könyvet írt: „Dorothea Schlözer, Göttingen 1976” és „Carl Friedrich Gauss és könyveinek világa, Göttingen 1979”. Martha Küssner jelenleg a Gauss-tanítványok életének kutatásával foglalkozik.

** Az eredeti német kiadás 1981-ben jelent meg, a Gauss Társaság Mitteilungenjében, a következő címmel: „Der Gausschüler Peter Paul Tittel aus Ungarn (1784—1831) Direktor der Sternwarte Erlau und Ofen”. Fordította: Vargha Domokosné, MTA Csillagvizsgáló Intézete.

*** A luteránus Baltikumból a katolikus Bécsbe, Münchenbe! (A ford.)



1. ábra. Tittel Pál (1784—1831)

Tittel ifjúsága, egri, pesti, bécsi tanulóévei (1784—1811)

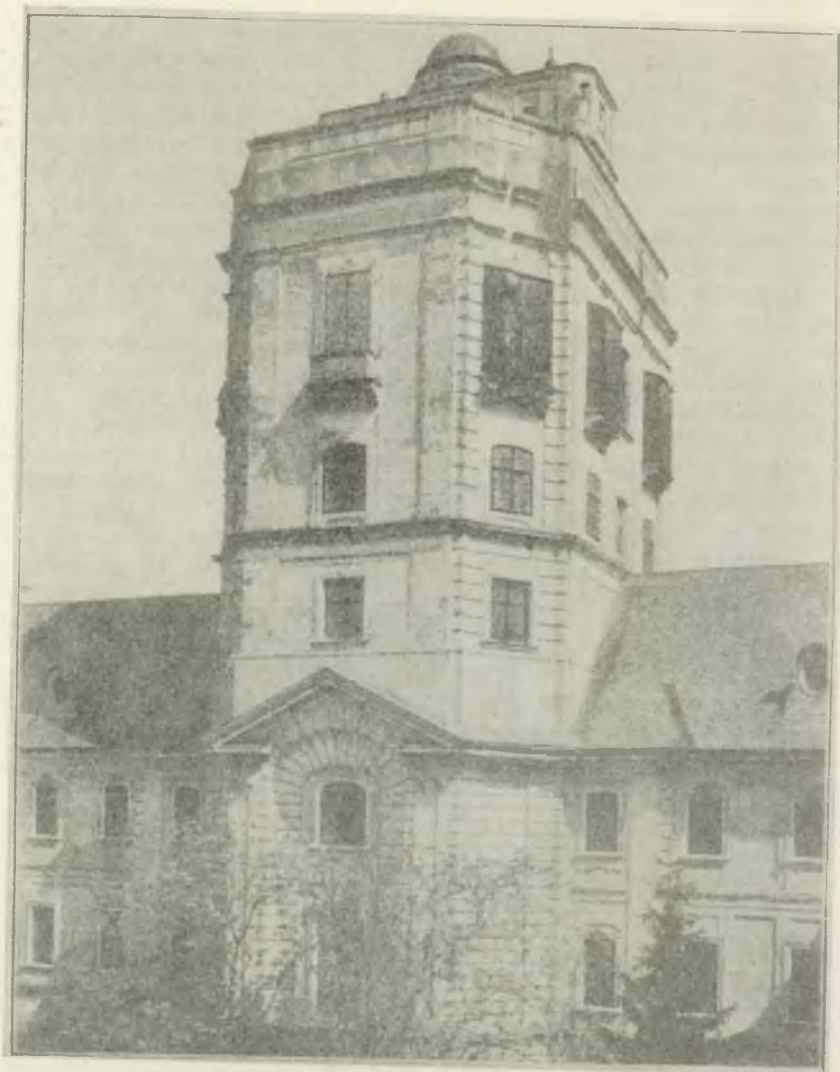
Tittel Pál 1784-ben született Pásztón, egy bognármester fiaként, akinek némi szőlője is volt. Az elemi iskolák elvégzése után gimnáziumi tanulmányait az egri líceumban végezte. Leginkább az algebrát és a történelmet kedvelte. Eger — németül Erlau, latinul Agria — a tudományos világban líceumával szerzett hírnevet, melyet Eszterházy Károly alapított, és remek barokk épületben helyezett el (1765—1785). Egy pompás könyvtáron kívül még egy torony is tartozott az épülethez: benne értékes angol műszerekkel felszerelt csillagvizsgáló, melyet a budavári obszervatóriummal egyidőben rendeztek be, Hell Miksa tervei szerint. Madarassy János működése idején az egri csillagdat a Jupiter holdjaival foglalkozó közleményei minden csillagász előtt fogalommá tették. Később hosszú ideig nem volt Egernek szakképzett vezető csillagásza. A főiskola is elvesztette jelentőségét, amikor 1780-ban állami egyetem alakult Budán, s ott a tudomány minden ágát tanították. 1789-ben Pasquich János (1759—1829) lett a csillagászat professzora, majd a budavári csillagvizsgáló igazgatója is.*

Tittel Pál 1801-ben lépett be az egri papneveldebe, 1807-ben szentelték pappá. Az akkori érsek, Nagyszalatnyai Fischer nem bízta meg lel-

2. ábra. Az egri líceum épülete



* Pasquich 1807 és 1824 között volt a budai csillagvizsgáló professzora. (A ford.)



3. ábra. Az egri líceum csillagvizsgáló tornya

készí teendőik végzésével a nagytehetségű fiatalembert, hanem titkárává, levéltárának gondviselőjévé és a gimnázium matematikatanárává nevezte ki. Ebben az időben nyelvek tanulásával, irodalmi ismeretek szerzésével gyarapította tudását; az idős Sztáray grófné — a néhai Eszterházy Károly püspök unokahúgának — társasága révén pedig társadalmi műveltségét. 1808-ban a pesti állami egyetemen a filozófia doktorává avatták. 1810-ben könyvet adott ki Egerben „*Formulae analyticae*” címmel.

Ezek voltak a „napóleoni idők”. Mikor Napóleon Bécs előtt állott, I. Ferenc császár felesége, Magyarország királynéja Egerbe menekült. Tittel osztrák életrajzírója, Wurzbach elmondja, hogy amikor a királyné megtekintette az Eszterházy-féle épületeket, a toronyba is fellátogatott, s látván annak elhanyagolt állapotát, arra buzdította az érseket, hogy létesítsen ismét működő csillagvizsgálót. Erre az érsek ígéretet is tett. Mivel máshonnan nem sikerült alkalmas vezetőt szereznie, meggyezett Tittelrel: kiképeztesse asztronómusnak, hogy később a csillagvizsgáló vezetője legyen. Így 1809-ben Tittel Bécsbe ment, hogy két évig* csillagászatot és matematikát tanuljon. A bécsi Triesnecker 1812-ben, a *Berliner Jahrbuch* 1815. évre szóló kötetében publikálta Tittelrel és Bürg-gel folytatott megfigyeléseit.

Kronológiai tanulmányok, tanítás az egri érseki liceumban (1811—1815)

1811-ben Tittel már ismét Egerben tartózkodott. Beadványt fogalmazott a csillagvizsgáló szükségleteiről: új műszereket kívánt beszerezni, az órákat megjavíttatni, a tornyot pedig újjáépíttetni. Fischer adott is bizonyos összegeket a javításokra — ezt Pasquich professzor már az elődjének is javasolta —, s engedélyezte a csillagászati könyvek és folyóiratok beszerzését. Tittel kezdettől fogva a toronyban kapott lakást, fűtést, világítást, s az érsek asztalánál kosztot. Tanári javadalma a liceumban utóbb 400 Ft-ot tett ki, ehhez járult még 242 Ft könyvek vásárlására és a csillagdaki megbízatásért. Munkája keretében tanulmányozta az új csillagászati folyóiratokat, s matematikai, valamint egyháztörténeti stúdiumokat végzett a naptárkészítéssel kapcsolatban, mivel könyvet akart írni róla. Látván a csillagászat nagy elméleti és technikai fejlődését, hamarosan arra a felismerésre jutott, hogy ő a maga személyében nem elégíti ki azokat a személyi feltételeket, amelyek a korszerű csillagászati kutatásokban való részvételhez szükségesek. Hogy tudását tökéletesítse, Göttingenben kívánt tovább tanulni, ez lévén akkoriban a német nyelvterületnek az a városa, amely a csillagászati oktatás terén a legnagyobb hírnevet szerezte. 1814. október 14-én latin nyelvű levelet intézett Carl

* Valójában csak 1810-ben utazott Bécsbe, s anyagi okok miatt mindössze tíz hónapot töltött ott. (A ford.)

Friedrich Gauss-hoz, s megkérte, hogy fogadja tanítványának. E levél mutatja, hogy Tittel jól ismerte a szakirodalomból Gausst és tanítványainak körét.

Nagytekintélyű férfiú!

Bármilyen szerény légy is, ó nagytekintélyű, el kell fogadnod azt a tényt, hogy ahová arany műved, „*Az égitelek mozgásáról*” eljutott, ott mindenütt megtalálod neved ismerőit és tisztelőit. Erre azonban nyilván nem számíthatál, ó nagytekintélyű, hogy innen, az ősi Pannóniának ama vidékéről, ahol a Kárpátok Mátra nevezetű taréja emelkedik, kapsz egy kérő levelet, pedig mint látod, ez már meg is történt. Remélem, hogy ennek ellenére szívesen fogadod, nem az érdemeim miatt — ilyenek nincsenek —, hanem a Te jó szíved és az én bensőséges bizalmam folytán.

És most íme, az én kérésem:

Mióta 1807-ben az itteni líceum matematikatanárává neveztek ki, mindenekelőtt tisztségemből fakadóan, de ezen belül hajlandóságom szerint is e területen dolgozom — már amennyire ezt saját erőm megengedi. Majd — mivel nagyértékű műszerekkel felszerelt, de 26 éve nem működő csillagvizsgálónk nyomorúságos állapota engem közletről érintett — elhatároztam, hogy a csillagászat tudományában is jártasságot szerzek. Érsekem felkarolta vállalkozásomat, és Bécsbe küldött, hogy ott alapos matematikai stúdiumokat folytassak. Sajnos az a pénzügyi alap, mely eltartásomat biztosította, az államháztartás feszült pénzügyi helyzete folytán kimerült*, s engem néhány hónap múltán hazahívtak. Majd olyan súlyos, makacs betegségbe estem, hogy sokáig inkább csak vegetáltam, mint éltem. Végül úgy látta jónak az isteni gondviselés, hogy két bajom közül az egyikről megszabadítson, a másikat enyhítse. Szívemben a régi kívánság újraéledt: nyugalmas körülmények között fejlesztem szerény tudásomat, hogy — ha Te is beleegyezel, ó nagytekintélyű férfiú — kollégiunaidat Göttingenben a Te meglegedésedre jól megérthessem.

Úgy gondolom, hogy tanítványaid körébe minden tanulni vágyó fiatalember beléphet, mégsem vagyok biztos ebben. Mély tisztelettel kérem és erősen remélem, hogy kegyesen bebocsátasz engem ide. Bennem olyan tanítványra fogsz találni, aki; ha nem is olyan tehetséges, mint Wachter, Gerling, Nicolai és Encke; tudásvágyban és buzgóságban senki mögött nem marad el, és akinek számíthatasz hűségére.

Soha nem mennék el Göttingenbe, ha Te, nagytekintélyű férfiú, ott nem laktál. Úgy részesülhetek a nagy jótéteményben, hogy engem alapos oktatásra méltatsz, ha jövőre is ott szándékozol maradni Göttingenben és megtartani csillagászati kollégiumaidat.

Bizakodva várok nyájas beleegyezésedre, és tiszteletteljesen üdvözöllek,

igaz tisztelőd
Tittel Pál

Szíves leveled engem az alábbi címen ér el biztossággal:

Tittel Péter Pál, az egri érseki kerület lelkésze, a szabad művészetek és az irodalom magisztere, a bécsi és a pesti egyetem filozófiai doktora. Eger, Magyarország.

* A devalváció ebben az időben ötödére csökkentette a papírpénzek értékét!

Gauss válasza nincs meg, de alighanem Pasquichot is értesítette Tittel szándékáról, mert utóbb a megérkezéséről is referált neki. Körülbelül egy évbe telt, amíg az érsek áttanulmányozta a tervet, és 1815. szeptember 6-án létrejött az anyagi megállapodás. Tittel 137 aranyforintnak megfelelő 2655 váltóforintot kapott, továbbá útiköltséget, a kalendáriumokról szóló művének kinyomtatására pedig egy alapítvány kamatait. Így érkezett Tittel a forintok országából a tallérokéba. Forintjait mintegy harmadannyi tallérra válthatta át. Másfél évre tehát annyi pénzt kapott, hogy nemcsak gond nélkül élhetett, utazhatott belőle, hanem számottevő vásárlásokkal könyvtárának alapjait is megvethette — idővel ez 600 kötetet foglalt magába. Az irodalomban szerzett jártassága révén lett később megbecsült beszélgető partnere Gaussnak. Tanulmányainak idejére a papi öltözetet, a reverendát sem kellett hordania, melynek nyilvános viselése egyébként is tilos volt Göttingenben.

Tittel göttingeni tanulóévei, utazása Franciaországba és Angliába (1815-1817)

A 31 éves, tudós lelkész Göttingenbe érkezvén, 1815. október 25-én beiratkozott a csillagászati tudományok hallgatójának, és a Jakab-tempлом közelében szerzett szállást. Nagy igyekezettel esett neki mindjárt a munkának. Gauss beszámol róla Olbers-nek, Bessel-nek és Gerling-nek is: „Ezen a télen egy igen buzgó tanítványt kaptam, egy magyarországi papot, Tittel doktort, aki az egri csillagvizsgáló élére van kiszemelve.”

Eleinte, igaz, még nem tudott Gaussnak segíteni, amiként az meg is írta Besselnek. De hamarosan Gauss más tanítványaival együtt efemeriszeket számolt, közelebbről a Pallas kisbolygó pályájának a kiszámításán dolgozott, továbbá tanulmányokat írt „*Reduktion verschiedener chronologischer Daten /A különböző kronológiai adatok kiszámítása*” és „*Über den Kalender der Araber und Türken/ Az arabok és a törökök naptárairól*” címmel.

1816 májusában fejezte be könyvét, a „*Methodus construendi calendarium ... /A naptárkészítés módszereiről ...*”-t, és nyomatta ki 800 példányban Göttingenben. Ez a könyv felekezetek feletti mű, mely az egyházi év minden napjára megadja a változó és állandó dátumú ünnepeket a Magyarországon is bevett négy európai keresztény felekezetre: a római katolikus, az ortodox, a református és az evangélikus számára. A változó ünnepek a húsvét napjához kapcsolódnak, ezek alakulását a XIII. Gergely-féle naptárreform és annak számítási formulái szerint 1899-ig dolgozta fel. A négy felekezetnek emellett különböző állandó ünnepei is vannak, nem szólva az egyes napok patrónusairól vagy védszentjeiről, amelyek felekezetenként különböznek, s amelyek irányadóak a gyerme-

M E T H O D V S
TECHNICA, BREVIS, PERFACILIS AC PERPETVA
CONSTRVENDI
CALENDARIVM ECCLESIASTICVM
STYLO TAM NOVO QVAM VETERE

PRO
CVNCTIS CHRISTIANIS EVROPAE POPVLIS,
DATAQVE CHRONOLOGICO-ECCLESIASTICA
OMNIS AEVI EXAMINANDI ATQVE DETERMINANDI.

AVCTORE
PAVLO TITTEL.

GOETTINGAE,
TYPIS CHRISTIANI HERBST.
1816.

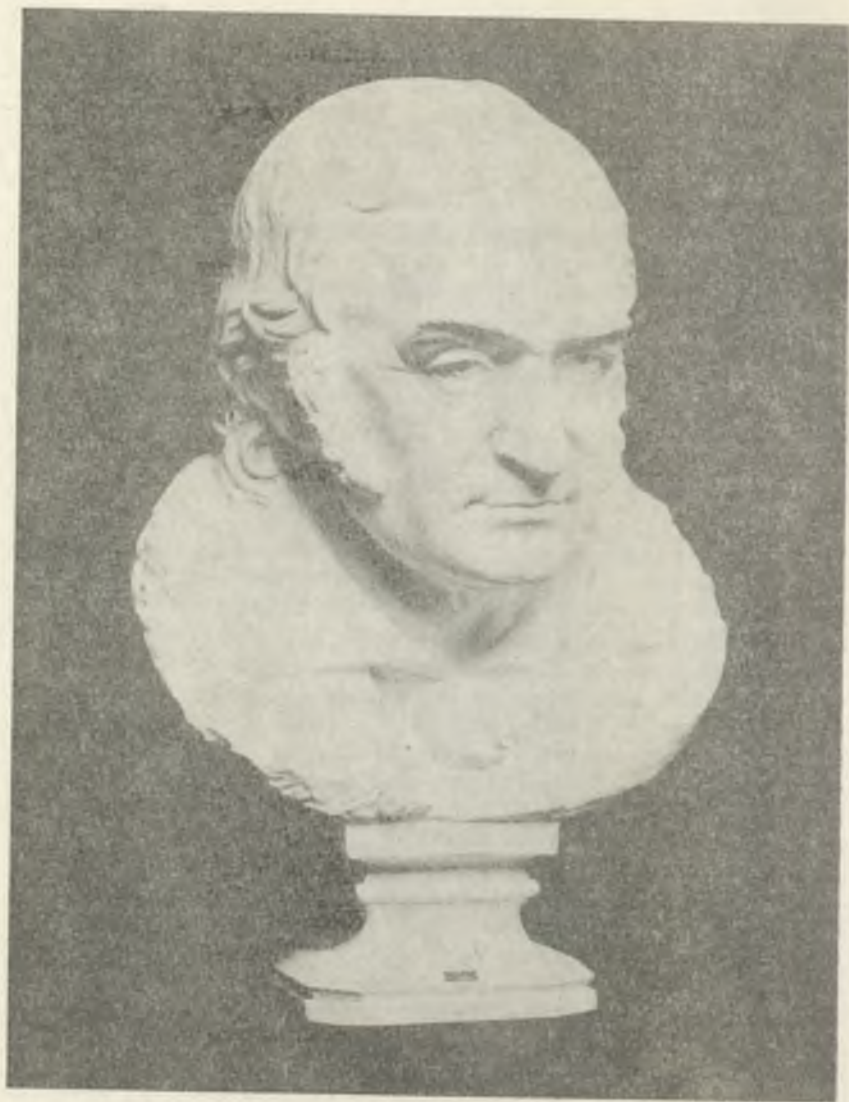
4. ábra. Tittel naptárkészítésről írott művének címoldala

kek keresztnévének megválasztásában: a naptári jegyzékek ezeket is közlik. Tittel a felhasznált irodalomra nem utal munkájában. Mégsem árt emlékeztetni arra, hogy Gauss 1800-ban, 1802-ben és 1807-ben levezette a „húsvét formulát”, és átdolgozta a keresztény és a zsidó naptárt. 1816-ban a Zeitschrift für Astronomie-ben korrekciókat tett közzé 4200-tól kezdődően az általa számított M segédváltozókra. „Ezeket a kiegészítéseket az egri dr. Tittel úrnak köszönhetem, aki jelenleg Göttingenben tartózkodik, és rendkívüli szorgalomról tesz tanúságot a csillagászati tudományok tanulmányozásában.”

Gauss már rövid idő múltán elismerően mondhatta: „Ha Ön, doktor úr, a jövőben is olyan előmenetelt tanúsít, mint amit eddig tapasztaltam, már nincs messze céljától.” Tittelnek Gauss iránti tiszteletéről beszélnek azon latin nyelvű sorok, melyeket érsekéhez írt: „A nagytekintélyű Gauss készséggel megosztja velem tudását, és ez még növeli iránta érzett rokonszenveimet. Ki sem mondhatom, mennyi kincshez juttat engem e neves férfiú gyakori társasága; nem múlik el nap, hogy ne kapnék új gondolatokat, vagy hogy számottevően ne tökéletesíteném tudásomat.”

Úgy látszik, hogy tanuló társaival általában jóbaráti kapcsolatban volt Tittel. Erről tanúskodik levelezése is: később többükkel állt érintkezésben, s tudakozódott sorsuk iránt, küldött nekik baráti üdvözléseket. Azokkal a vendégcsillagászokkal, akik Gauss Göttingenben felkeresték, az ő révén Tittel is megismerkedett, így a többi között az altonai Christian Schumacher-rel. Gauss ajánlólevelével kereste fel Olbers brémai orvost, a kor legnevezetesebb üstököskutatóját is, midőn az családjával együtt Pyrmontban kúrálta magát. 1816. július 29-én Olbers ezt írta Gaussnak: „Nem ereszhetem útjára a nékem igen tetsző derék dr. Tittel anélkül, hogy néhány szóval meg ne mondjam neki: eltekintve a hitvány időjárástól, a kúra úgy látszik mindnyájunknak jót tett. Dr. Tittelrel egy-néhány igen kellemes napot töltöttem. Ami rövid látogatását számomra oly különösen vonzóvá tette, az nemcsak az ő saját nyílt, vidám, már-már gyermeg kedélye, hanem az a hálás, meleg, bensőséges tisztelet és ragaszkodás is, amellyel Ön iránt, legdrágább barátom, viseltetik! Szüntelen Önről beszélgetünk, és ha az Ön fülei nem csöngtek gyakran, akkor az ismert népi szólás súlyosan téved. Igyekezett is dicsérnem kell, mely őt hamarosan visszavezérli Göttingenbe, mivel nem akar semmi időt sem veszíteni abból, amit még Önnel tölthet. Nem kételkedem abban, hogy Ön olyan képzésben részesíti, melynek birtokában méltó igazgatója lesz az egri csillagvizsgálónak.” Egy évvel később Tittel magyar bort küld Olbersnek, aki köszönetét egy Gausshoz írt leveléhez csatolja.

Tittel tanulóévei igen szerencsés időszakra estek, mert ő nemcsak a „halhatatlan Tobias Mayer”-nek a városfalra épített régi csillagvizsgáló tornyát ismerhette meg — amelyben ez ideig Gauss és munkatársa, Ludwig Harding működött —, hanem a klasszicista stílusban épült,



5. ábra. *Carl Friedrich Gauss (1777—1855) mellszobra*



6. ábra. A göttingeni csillagda épülete

berendezésre kész új csillagdat is, amelynek a legmodernebb műszerekkel való felszerelését Gauss épp' akkoriban sürgette.

Ez volt az átmenet ideje az angol műszerekkel ellátott tornyok és a német műszerekkel berendezett alacsonyabb épületek között. Amikor 1816. április 18-án Gauss öt hétre Bajorországba utazott — hogy Münchenben egy meridiánkört és egy passzázműszert vásároljon Reichenbach-tól —, 10 éves Joseph fia és dr. Tittel társaságában kelt útra. Gothát is útba ejtették, itt Tittelnek módja volt megismerni az újjáalakított seebergi csillagvizsgálót és annak igazgatóját, Bernhard Lindenaout, a Zeitschrift für Astronomie c. folyóirat szerkesztőjét. Míg Gauss Würzburgban levelezését intézte, fia és Tittel a várost járták. Münchenben Tittel bepillantást nyert a legnagyobb német műszergyártó cég életébe. Ismeretséget kötött a cég tulajdonosaival, Reichenbachhal és Utzschneider-rel, s Gausszal és Joseph-fel szállóvendég volt Reichenbach házában. Benediktbeuerben a híres Joseph Fraunhofer optikai üzemét látogatták meg. Megnézhették azokat a műszereket, melyek a Münchener Csillagvizsgáló számára készültek. Berchtesgadenben a sóbánya gépi berendezését tekintették meg, Regensburgban pedig páter Heinrich Placidus csillagvizsgálóját keresték fel, amely már olyan műszerekkel dolgozott, amilyeneket Gauss is megrendelt.

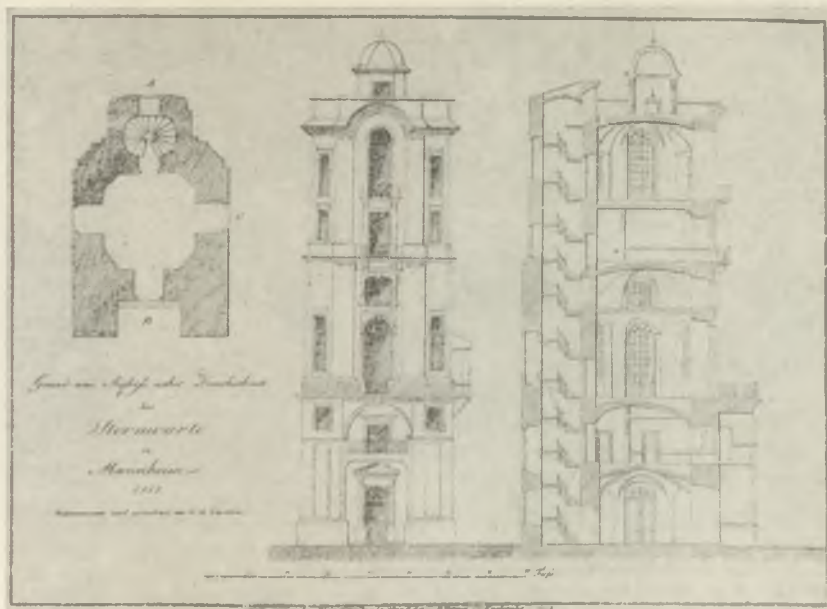
Három szemesztert töltött már el Tittel Göttingenben, amikor egy párizsi tanulmányútra kért érsekétől anyagi támogatást, és ezt meg is kapta. Ajánlólevelekkel ellátva indult 1817 tavaszán Franciaországba. Hogy Kasselen, Mannheimen, Heidelbergben és Strassburgon át vezetett útja, s hogy közben Gauss két tanítványát, Gerlinget és Nicolai-t is felkereste csillagvizsgálójukban — mindezt utóbbinak Gausshoz írt leveléből tudjuk, de magának Tittelnek azon leveléből is, amelyet 1817. április 12-én írt Párizsban, és amelyet alább szó szerint közlünk:

Nagyságos udvari tanácsos úr!

Szeretett barátom és tanárom!

Az Ön felejtethetlen társaságában hozzászóltam ahhoz, hogy minden kívánságomat, kérésemet és panaszomat élszóval adjam elő, most azonban kénytelen vagyok mindezt, még szívből jövő köszönetemet is — melyet utolsó lehetetlenségig érezni fogok Ön iránt — halott betűkre rábízni. Jó lenne, ha legalább az Ön nemes jósága megtöltené étellel azokat. Szorongó szívvel vesztettem szemem elől a házat, amelyben Ön lakik, és melyhez engem oly sok drága, szent emlék köt. Mélabúsan és teljesen zilált lelkiállapotban kellett mutatkoznom a derék és szeretetreméltó Gerling előtt, miközben búcsút vettem tőle, mely talán mégsem örökre szólt. Vidámságot csak Heidelberg kies vidékén éreztem, s végtére Mannheimben, ahol a jószívű Nicolai barátságos közelségében minden virul, jöttem egészen rendbe. A boldogság teljességéből, amelyben ezt az irigylésreméltó földi lényt részesítette az ég, én is kaptam egy jókora adagot. Kitüntető szívességét, amelyet hatnapos ott tartózkodásom alatt tanúsított irántam, nem emlegethetem elég hálával. Ott kellett hagynom a vendégfogadót, melyben már megszálltam, hogy hozzá menjek kosztra és kvártélyra. Annyit ittunk az Ön épségére és egészségére, hogy néha már-már nagyon is nekihevültünk. Ha Ön mégis meglátogatná őt Lindenau úrral — melyet ő bizton remél — akkor lesz csak igazán vidám a mannheimi égbolt: egyúttal azt is a saját szemeivel láthatja majd, milyen kifogástalan az ő életmódja. „Szembekötödsdi”!* Övjon Isten! Illendőség, csupa merő illem és a csillagok csendje. Olykor még rá is kell varrniuk magukat az élénk, vidám hölgyek csoportjainak; alig voltam még ott három órája, amikor magam is tanúja lehettem ilyesminek; de tartozom az igazságnak azzal, hogy beismerjem: olyan halkan társalogtak, hogy csak akkor értettem néhány szót, ha felém hozta a hangot a szél; és ez a tartózkodás, mely igen ritka tulajdonsága a nőknek, valóban figyelemreméltó, és ebben én mindig hinni szeretnék, mert midőn később egy másik, valamivel vadabb társaság trappolt felfelé a lépcsőn, Nicolai igen rosszkedvűen ment ki eléjük, és miután mindent megmutatott nekik, amit akartak, éppoly ingerülten vonult vissza szobájába, azt állítva, hogy a látogatók miatt olyan mérges: ebben én nem is kételkedhettem, mert nem kevésbé komoly hangon beszélt, mint bárki más, amikor minden másodperce drága. Röviden ennyit, minderről valójában

* A mannheimi csillagvizsgáló az udvari park nyugati végében állt, s a jó társaság kilátótoronynak használta. H. C. Schumacher (Nicolai elődje) szembekötödsdit játszott egykor a látogató hölgyekkel, s eközben az asztal alá is bemászott.



7. ábra. A mannheimi csillagvizsgáló tervrajza

beszélni sem kellene, hisz az ő elvei sziklaszilárdak; s ő úgy viselkedik tűzzel szemben, mint egy tűzálló spanyol.*

Mannheimből ismét Heidelbergbe tértem vissza, ahol nekem, egy szép üdvözet átadójának, csak jól mehetett a sorom. Innen egyhuzamban utaztam Strassburgba. Igen rövid időn belül megismerkedtem Kramppal: felettébb előzékeny, szívélyes embernek találtam. Világosan látja, milyen hibát követett el abban a közismert tanulmányában. Elmondta, hogy a „Gergonneschen Annalen” a hatodik kötettel megszűnik — közlemények hiányában. Ön tudni szeretné, hogyan fest ez a Kramp? Hogyan is tudnám röviden ecsetelni? Öreg, meglehetősen kopasz, zömök férfi, vállban, derékban vaskos, de lábai satnyák.

Nyolcnapos strassburgi tartózkodás után — melyre kiváltképpen a levelezésem miatt volt szükségem — ismét egyhuzamban utaztam idáig. Ez az út fél nap híján hat napig tartott. Útitársaim között volt egy fiatal francia tisztviselő, akinek nehéz volt úgy élnie, hogy sohasem láthatta hazájának világhírű fővárosát. Most három teljes napot engedélyeztek neki az ott tartózkodásra. Bizony szívesen meghallgatnám, hogyan meséli el ez a fickó a maga útiélményeit otthon. Én már hetedik napja lakom ebben a nagy

* Nicolai beszámolt Gaussnak, milyen benyomást tett Tittel a mannheimi hölgyekre.



8. ábra. A párizsi csillagvizsgáló épülete

... házban. Szerencsétlenségemre egy ilyen utcába vezetett valaki, így oda lyukadtam ki, ahová Lindenau úr is bizonyára kitűzte volna a figyelmeztető karót. Nyolc napon belül bizonyára lakást változtatok, s a Szajna másik partjára költözöm, közelebb a csillagvizsgálóhoz. Jelenlegi szállásom címe: Hôtel de Malte, Rue Richelieu 65. Ezen a címen később is megkaphatom azonban leveleimet, mert új címemet meg fogom hagyni a portásnál.

Már csaknem minden itteni tudóst ismerek a matematikusok közül, egy-néhányukat otthonukban kerestem fel, a többieket részben az Akadémia ülésén, részben a „Bureau des Longitudes”-ben láttam, legtöbbjükkel beszéltem is. Cuvier alig tudta az általam hozott „Göttinger Commentationen” tartalomjegyzékét felolvasni, mert Laplace, Lacroix, Legendre, Poisson, Biot lázas mohósággal csaptak le az Ön cikkére. Ezek a: „*Methodus nova integrantium valoris per approximationem in veniendi*”, és a tétel kettős bizonyítása: „*Quamvis functionem resolveri posse*” etc. Delambre úr egy meglehetősen terjedelmes értekezést olvasott fel az indiaiak aritmetikájáról, geometriájáról és csillagászatáról. Az ő beharangozott nagy műve már nyomdában van M^r Courciernél. Az Ön indítványa a kávé ügyében eredményes volt. Lindenau úr egy küldönc révén hamarosan egy főzőmasinát fog kapni Altenburgban, részletes recepttel együtt. Erre az úrra itt mindenki tisztelettel és örömmel emlékezik. Levelei igen kedvező fogadtatást biztosítottak számomra, ezért hamarosan köszönetet is mondok neki. Delambre úr valóban igen szívélyes ember, egyszerű szokásokkal. Egészen másképpen fest, mint ahogy elképzeltem. Carlini holdtáblázatairól nem tudtam meg semmit, aligha léteznek. Cauchy értekezései ellenben már megjelentek. Legendre-ral beszéltem erről, ő ideadott nekem két példányt „*Supplement à l'essai sur la Theorie des Nombres*” c. művéből.

Ennek tartalma:

- 1°. Sur les moyens de décomposer un nombre donné en quatre carées, de manière que la somme de leurs racines soit égal à un nombre donné.
- 2°. Demonstration du Théorème de Fermat, sur les nombres polygones, et de quelques autres Théorèmes analogues.
- 3°. Méthodes nouvelles pour la Résolution rapprochée des équation numérique. Az „Avis du N° 2”-ben ezt mondja: Cette démonstration est fondée sur les mêmes principes, que celles, dont la découverte récente est due à M. Cauchy; mais elle diffère à plusieurs égards, et elle ne suppose démontré que le théorème relatif aux nombres triangulaires, qui est le premier cas du théorème général.

A két példány egyikét Önnek kell elküldenem Göttingenbe, ez a legalkalmasabb módon meg is fog történni.* Az Ön többi kérdésére még nincs módomban felelni, de ezek sem maradnak sokáig válasz nélkül. Több itteni tudósnak arra a kérdésére, hogy vajon ellátogat-e Ön valaha Párizsba, röviden azt feleltem: *soha*; gondolom, nem követtem el hibát. Rodriguez még mindig nincs itt. Biot néhány napon belül Angliába megy, hogy ott elvégezze az ingával kapcsolatos méréseit. Arago is követni fogja, de csak augusztusban. Bouvard Jupiter-táblái elkészültek, de a Saturnus-táblázatok még nem: kinyomtatva azonban még semmi sincs. Biot kiadja kétkötetes „Fiziká”-jának egy rövidített változatát. A szakirodalommal kapcsolatban mást ezúttal nem tudok írni, ha ismét gyűjtök egynémely híreket, nem mulasztom el, hogy pótoljam az eddigieket. Abban a kedves fogadtatásban, melyben H. Burkhardtnál részesültem, leveleinek jótékony hatását ismertem fel, tiszteletteljes köszönetem érte. H. és M. Leffrançais-vel még nem találkoztam, így Harding professzor úrnak csak a magam igen szívélyes üdvözlését tudom küldeni,** igyekezem ezeket hamarosan jobbakkal és kellemesebbekkel megtoldani.

Levelemet azzal az őszinte kívánsággal zárom: adjon a Mindenható Önnek, valamint tiszteletre- és szeretetreméltó feleségének, és valamennyi szép gyermekének, Josephnek, Minnának, Eugennek, Wilhelmnek és Therese-nek erőt, egészséget, és áldásainak özönével boldogítsa mindnyájukat.

Őszinte tisztelője és hálás tanítványa
Tittel

A propos! Majdnem elfelejtettem megjegyezni, hogy madame Delambre kávéja *in natura* igen finom ital. Ő azt állítja, hogy a víznek hidegnek kell lennie, ennek szerinte kémiai alapja van, amint nekem ki is fejtette. Nem hajlandó elismerni, hogy a víz alkalomadtán langyos, sőt meleg is lehet, anélkül, hogy ez a kávé elrontaná.

* A *Supplement* példánya hiányzik a Gauss-könyvtárból, az alapmű viszont megvan, két példányban is.

** Michael Jean Jérôme Le Français, a csillagvizsgáló igazgatója, s unoka-öccse, akit ma Lalande néven ismerünk, baráti kapcsolatban állt Hardinggal, az utóbbinak a párizsi tartózkodása óta.



9. ábra. A greenwichi királyi obszervatórium (Royal Observatory)

Párizsi tartózkodása idején, mely 1817 áprilisától szeptemberig tartott, Tittel kedvet kapott egy angliai utazásra is. Kérelmére válaszul egy levelet kapott érsekétől, melyben az utat nem tiltotta meg, de óvta tőle. Ennek az utazásnak szükséges voltát Fischer már nem látta be. Inkább azt tanácsolta, hogy tanulmányútja befejezéseként utazzon el Trienten, Torinón, Milánón, Bolognán és Firenzen át Rómába, hogy miután az egyházellenes országok érdemes tudósaival és egyházi férfiúival kapcsolatba került, kössön ismeretségeket és szerezzen tapasztalatokat katolikus országokban is. Kanonokságot ajánlott fel neki, és ezer forintot a római út költségeire.

Tittel Németországban és Franciaországban nyitott szemmel figyelte az egyházi viszonyokat, és az egyházak egyszerű papjai mellett a reformkatolicizmus ismert képviselőivel is kapcsolatba lépett. Életrajzírója, Albert Ferenc név szerint említi Heinrich K. v. Wessenberger-t, Freiburg érsekét, és Henry Grégoire-t, Blois püspökét, akik Rómában eretnek hírében állottak. Ők azt a nézetet képviselték, hogy belső megújulás által az egyházi visszasságoknak idejében való kiküszöbölésére kell

törekedni, leszűrve a történelmi tapasztalatok tanulságait; hogy a különböző országokat illető ügyek nem tartoznak a római felsőség hatáskörébe, ezeket külön-külön kell számba venni. Tittel, aki ismerte az egyház bajait Magyarországon, ilyen szellemben írt leveleket Egerbe, s ezzel titkos ellenségeket szerzett magának. Sokkal jobban elmerült ekkor a csillagászatban, hogy Fischer szavait különösebb figyelemre méltatta volna.

Késő ősszel utazott Tittel Londonba, John Pond vezetésével megtekintette a greenwichi királyi csillagvizsgáló pompás felszerelését, és felkereste Slough-ban William Herschel-t. Ezután sem utazott Rómába, hanem egyenesen Bécsbe tartott, s innen 1817. december 14-én levelet írt Gaussnak. A levél első részében még a párizsi tudományos élet híreiről számol be, és arról, hogyan próbált megismerkedni Gauss levelezőpartnerével, a matematikus Sophie Germain-nel, majd az újabb szakiroda-

10. ábra. Herschel Sloughban felállított tükrös távcsöve



lommal foglalkozik. Aztán futtában angliai tartózkodásáról is szót ejt. „Angliában kétszer is meg voltam botránkozva Ön miatt. Először Herschel-nél, aki az ön nevére éppúgy nem emlékezett, mint Schroeter Napóleonéra. Másodszor Barlow matematikai és fizikai lexikonának olvasása közben, ahol a «Gauss Theorem» címszónál Önt így említik: «professor of mathematics in Strassburgh». Pondot az Ön várakozása és az enyém ellenére igen ember-séges, szívélyes embernek találtam...” (Pond nem válaszolt Gaussnak egy levelére. Herschelről meg kell jegyezni, hogy — 79 éves lévén — talán az aggkori névfelejtés betegségében szenvedett.) Két úti levelében Tittel nem említi azokat a nagyszerű csillagászati építményeket, amelyeket Párizsban és Angliában látott.

Bécsben Tittel közelebbről értesült róla, milyen háborúság támadt Pasquich és Littrow (az új budai csillagvizsgáló igazgatója és Kazányból meghívott társigazgatója) között. Hogy milyen elmélyült volt az ellenségeskedés, azt maga is tapasztalta, Fischer érseknél tett közös látogatásuk alkalmából, mely kínos körülmények között zajlott le. Saját ügyeinek intézése végett Tittel Budáról még egyszer Bécsbe utazott, mielőtt visszatért volna Egerbe. 1818. január 18-án Budáról írta Gaussnak: „Érsekem attól a szándékától vezérelve, hogy engem olyan helyzetbe juttasson, amelyben az ő további segítsége nélkül is fedezni tudom a fent említett csillagvizsgáló (Eger) minden jelenlegi és jövőendő szükségletét, néhány hónappal előtől előterjesztett a királynak az ő káptalanában megüresedett egyik kanonoki állásra. Hosszabb bécsi tartózkodásom idején nem mulasztottam el a magam részéről is minden lehető megtenni az ő ajánlásának a sikeréért; evégett még Őfelsége színe előtt is megjelentem, aki engem kegyesen fogadott, és reményekkel telt bocsátott el”.

Bizakodva fejtegeti Gaussnak az egri obszervatóriumra vonatkozó terveit. Majd részletesen beszámol Pasquichról és Littrowról, akikre vonatkozólag Gauss előzőleg egy levelében azt írta neki, hogy „jellemük sarkai nem illeszkednek egymáshoz”. Utóiratban közli Gausszal az újságot, hogy Littrowot meghívták Bécsbe. Itt Littrow a régi csillagvizsgálót új műszerekkel szerelte fel; ő maga pedig korának egyik legsikeresebb csillagászati írója lett, kivált „Wunder des Himmels / Az égbolt csodái” c. művével, mely 1963-ban még megérte 11. kiadását.

Tittel működése az egri csillagvizsgáló vezetőjeként (1818—1824)

Tittel tehát újra ott ült az 53 méter magas csillagvizsgáló toronyban, a muzeális értékű műszerek között. Mindenki sokat várt tőle, különösen Fischer. Boldog tanuló- és utazóévei után azonban megkezdődtek a nehéz idők, amikor javaslatot tett a csillagvizsgáló műszereinek felújítására. Az érsek — akinek Tittel iránti rokonszenve már jócskán lehült — meg-

ijedt a tetemes összeztől, és teljesen elutasítóan viselkedett. Még elutasítóbbá, sőt ellenségesé váltak Tittelrel szemben papi kollégái, és maga a káptalan. Ők ezekben a bűnösen drága műszerekben játékszereket láttak, melyeknek az egyházi javakból való finanszírozása az ő szemükben ellentétes lett volna azok rendeltetésével. Amikor az érzékeny Tittel megbizonyosodott róla, hogy az ő kanonokságáról többé szó sem lehet, a csalódás beteggé és búskomorrá tette. 1819. március 18-án Littrow ezt írta Gaussnak: „*A Tittelnek szóló levelet épp most küldtem el. Ő bizonyára beteg. Utóbbi levelei rosszkedvről, mély elégedetlenségről vallanak. A kanonokságra vonatkozó reményei megghiúsultak. Ha még sokáig kötözködnek és akadékoskodnak vele, ő is olyan lesz, mint az összes többi. Addig itt nincs nyugalom. Az embernek egy kissé el kell vadulnia ahhoz, hogy boldogan élhessen az emberek között.*”

Tittel ezekben a csalódottsággal teli években a csillagászatot tanította a liceumban. Itt azonban, a tudomány törvényszerű világiasodása idején, csak teológusokat képeztek, így alig talált érdeklődő hallgatókra. Korszerű műszerek hiányában úgy érezte, hogy a megfigyelések terén is tétlenségre van kényszerítve, ezért csaknem kizárólag irodalmi működést folytatott. Egy kisebb tanulmánya meg is jelent a *Tudományos Gyűjtemény* c. magyar folyóiratban az 1820. évi napfogyatkozásról. Mivel azonban Magyarországon nem volt csillagászati közleményeket publikáló kiadvány — Pasquich és Littrow is német lapokban közölte írásait —, sok minden maradt az asztalfiókban.

Ebben az időben egy sajtókampány nyomán sok szó esett az új budai csillagvizsgálóról, mint Pasquich hibájából félresikerült intézményről. Pasquich „*Briefen an Hesperus / Levelek Hesperushoz*” címmel írta meg védekező írásait. A támadások botránnyá fajultak, melyet a tudománytörténet „Pasquich-ügy” néven tart számon. Asszisztense, Kmeth Dániel (Pasquich szerint „egy kegyes iskolát járt” pap*) vádolta meg őt Zach „*Correspondence*”-ében, hogy mérései eredményeit meghamisította. Ez a legnagyobb vád, amely egy tudóst érhet. A vitába, mely a kor csillagászainak levelezésében nagy teret foglalt el, nem merülhetek itt bele mélyebben. A zárszót végül is Gauss mondta ki „*Ehrenrettung / Rehabilitáció*” című cikkében, az Astronomische Nachrichten 1825-ös évfolyamában. Pasquichot ez a tekintélyes ítélet tisztázta a hamisítás vádjától, de az ügy össze volt törve, hogy már jóval előbb kérte felmentését, Bécsbe akarván költözni. Ott sikeres tankönyveket írt, csekély vagyonát halála után a pesti egyetemre hagyta.

Tittelt hívták meg utódjának. 1824. szeptember 13-án I. Ferenc kinevezte a pesti egyetem professzorának, és a gellérthegy csillagda igazgatójának. Fischer előzőleg, 1822-ben, anélkül halt meg, hogy Tittel helyzetén

* Kmeth kegyesrendi (piarista) szerzetes volt. (A ford.)

javított, s a műszerek költségeit engedélyezte volna; azóta az érseki szék üresen állt. Tittel így otthagya az őt ki nem elégítő egri állást, papi hivatását azonban nem, s nagy reményekkel indult Budára. Olbers erről értesülvén, így írt Gaussnak: „*Csodálkozok majd azon, hogy egykori tanítványát, dr. Tittel, a budai csillagvizsgáló igazgatójává nevezték ki, mielőtt Pasquich megkapta volna felmentését. Tittel — miként Schumachernek írta — Pasquich igen jól fogadta, mindazonáltal úgy látszik, hogy Littrow is a kinevezés érdekében működött.*”

Gauss, aki Littrowval, Pasquichsal és Tittelrel egyaránt levelezett, s akinek birtokában volt a „*Briefe an Hesperus*”, jól volt tájékozva Buda felől. Kommentárját Tittel kinevezéséhez Königsbergbe, Wilhelm Besselnek írta meg, 1825. január 15-én: „*Nagy csodálkozásomra azt hallom, hogy Pasquich hajdani tanítványomnak, dr. Tittelnek adja át a budai csillagvizsgálót. Ő nagyon szorgalmas ember, és alapos matematikai ismeretekre tett szert, nem tudom azonban — magunk között szólva —, hogy olyan irányú szellem-e, amilyennek egy gyakorlati csillagásznak kell lennie.*”

Tittel (egri elméleti munkásságának eredményeként) nem sokkal azután, hogy meghívták Budára, cikket közölt az *Astronomische Nachrichten*-ben, „*Theoria nova aberrationis fixarum . . .*” címmel, s ilyen szerzői megjelöléssel: „*Auctore P. Tittel (R. Speculae Budensis Praefecto et ad Universitatem Pesthinensem Astronomiae Professore)*”. Cikkéről az igen kritikus Bessel a következőket írta Gaussnak: „*Azt, hogy Ön Tittel rátermettségéről nem adott kedvező bizonyítványt, maga Tittel is alátámasztotta az aberrációról írott cikkével. Olyan jelentős matematikai hibát követett el benne, melyet súlyosbít, ha egy csillagvizsgáló igazgatója követi el, s járatlannak mutatja őt a gyakorlati csillagászat segédeszközeiben.*”

Tittel igazgatói működése a budai állami csillagvizsgálóban (1825—1831)

Budán a Szt. Gellért-hegyi csillagvizsgálót Pasquich János építtette fel 1813/1815-ben, és Reichenbach-féle műszerekkel gazdagon be is rendezte. Fekvésére való tekintettel megérdemelten nevezték Európa legszebb csillagvizsgálójának, még ha a klasszicista stílus egynémely ismerői, barátai az athéni csillagvizsgálónak ítélték is az első díjat. A hegy lábától nyugatra feküdt a régi Buda, fentről, 140 méter magasból lehetett átpillantani a Duna széles kanyarulatának víztükrén, s a szemközti parton terült el Pest — ahová akkor még nem vezetett át híd — templomtornyaival és egyetemének sziluettjével. A magaslati fekvés ellenére a megfigyeléseket gyakran zavarta a Duna feletti köd. (Olbersig eljutott a hír, hogy az épület nedvessége miatt a vasalkatrészek rozsdásodnak.) Az elhelyezés legnagyobb hátránya azonban az volt, hogy az egyetemi csillag-



11. ábra. Pest-Buda az 1800-as évek elején

vizsgáló túlságos távolságra került Pest városától. A hegyre nem vitt alkalmas kocsit, ez megnehezítette az anyagi ellátást, s elszigetelődéshez vezetett. 1818 hideg telének januárjában írta Tittel Gaussnak, hogy „a budai csillagvizsgáló ezen a télen teljességgel lakhatatlan, ennek folytán, mivel gyakrabban kijárni szinte képtelenség — mondhatni szinte halálos volna —, ebben az időben lehetetlen ott megfigyeléseket végezni”.

A magyar királyság pénzügyi helyzete: a takarékoskodás, a késve folyósított fizetések, az infláció is nehezítette Tittel életét. Professzorságáért 2800 blanco forintot kapott papírpénzben, mely csak feleannyit ért, mint az ércpénz, devizaként pedig, külföldi könyvek vásárlása esetén, még sokkal kevesebbet. Tittelnek volt ugyanis egy olyan szenvedélye, mely tudós embernek csak díszére válik: nagyon szeretett könyveket vásárolni, és mindig többet rendelt annál, mint amennyire jövedelméből futotta volna. Mivel pedig özvegy anyjáról is gondoskodnia kellett, és elhunyt bátyja három gyermekének nevelését is győznie pénzzel, anyagi zavarba került és eladósodott. Egy mentsége lett volna, ha ki-nevezik kanonoknak: ezt ő politikai naívságában még mindig remélte.

Nem hiú becsvágy hajtotta tehát Tittel, amikor a kanonokságra tört, s ezzel azt az egyházi rangot akarta elérni, amelyet a halhatatlan Kopernikus, a frauenburgi kanonok. Miután Franciaországban és Angliában

meglátta, milyen magas társadalmi rangban részesülnek a csillagászok és matematikusok, ő, akit az egyház akkor még láthatóan kedvelt, s akinek Fischer kilátásba is helyezte a kanonokságot, álmódzhatott is róla, hogy kanonoki fogaton kocsikázik Eger vagy a főváros utcáin. Most csak megvetéssel nézték az emberek kopott reverendáját. Kétszeresen fájt neki, hogy — hozzátartozói mindennapi kenyerének a gondjai közepette — egy fillért sem tudott adni jótékony célokra. Bensejében mélyen meg volt győződve róla, hogy magasabb egyházi rangfokozatot érdemelne, hiszen ahhoz, hogy vezető férfiúként, a tudomány, a nemzet és vallás érdekében, megfelelően működhessen, anyagi eszközök is kellenek.

Hivatalának gyakorlásában is megszenvedte a gazdasági korlátozásokat. Obszervátora nem lévén, csillagdája egyszemélyes üzem volt, 1825-től fogva egyetlen tanítvánnyal, Albert Ferencsel (1811—1889), aki egy egri baráti családból származott. Éjszakánként a megfigyelések, nappal a kiértékelések, levelek intézése, s hozzá — mivel pap volt — a napi kétórás breviáriumolvasás: mindez felőrölte Tittel. Végül mint egyetemi professzornak is kötelezettségei voltak. Az, hogy előadásokat kellett tartania, bosszantó időpocsékolás volt számára, és nem egyéb, mint a pusztán könyvtudomány közvetítése, hiszen hiányzott a napi kontaktus a hallgatókkal, és ezek állandó kapcsolata a csillagvizsgálóval, amint ezt ő Gaussnál megszokta.

A mérési jegyzőkönyvek nagy része itt Budán is a fiókban hevert, mivel lehetetlen volt bármiféle anyagi fedezetet felhajtani az obszervatórium közleményeinek a kinyomtatására. Miután Albert Ferenc a tanítványa lett, együtt mérték 1825. augusztus 18-tól október 24-ig az 1825/IV-es üstökös pályáját, emellett egész éjjel együtt végezték a megfigyeléseket, s napközben csak egy kis bóbiskolást engedélyeztek maguknak. 1826. február 2-án a mérési jegyzőkönyvek, az Astronomische Nachrichten számára írt közlemény kész kéziratával együtt elégték, az agyonfáradt Tittel gyertyájának a tüzetől. Ezt a sorscsapást Tittel nagyon nehezen tudta kiheverni. Úgy látszik, ekkoriban veszítette el végleg vidám alaptermészetét — mely őt mindenki előtt kedvelté tette —, és zuhant teljes reménytelenségbe. Noha megbízatása minden becsvágyát kielégíthette volna, az önkritikus Tittel előtt világossá vált, hogy az adott szűk anyagi lehetőségek között ő sem mint tudós a jól felszerelt csillagdában, sem mint egyetemi oktató nem tud kielégítő teljesítményt nyújtani. Az a nagy megbecsülés, melyet Pest-Buda minden jelentős férfia tanúsított iránta — Albert Ferenc a neveket is részletesen felsorolja —, nem tudta őt megtéveszteni. Azok az ajánlatok, melyeket más egyházmegyéktől kapott a kanonokságra, csak sértették őt, mert az egyházi munkába ő már nem akart bekapcsolódni, s ezzel jutni java-

dalomhoz, hanem azt akarta, hogy az ő saját egyházmegyéje adjon neki olyan működési lehetőséget, mely megfelel képességeinek.

1827-ben, mikor a megüresedett egri érseki széket Pyrker László-val töltötték be, Tittelben még egyszer feltámadt a remény, hogy javíthat helyzetén, mivel Pyrker először jóakaratot mutatott, és elismeréséről biztosította őt. De a kanonoki kinevezés ismét elmaradt. Albert olvasta Pyrker indokait. Nemcsak az egyház anyagi gondjaira hivatkozott, hanem szemrehányásokat is tett, amelyek Tittel nyilván nagyon bántották.

Megfigyelő csillagászként ugyan sikertelen maradt Tittel, de annál buzgóbban folytatta irodalmi munkásságát és csillagászati számításait. Az első magyar nyelvű tudományos enciklopédia, a „*Közhasznú Ismeretek Tára*” első két kötete számos cikket közöl tőle. Mikor 1830-ban 50 éves jubileumát ünnepelte az egyetem, a csillagvizsgáló a neki ajándékozott haranggal első ízben adott — más csillagvizsgálók időjelző gömbjeihez hasonlóan — déli időjelzést a város valamennyi órája számára. Egy rövid magyar nyelvű írásában „*Rövid tudósítás a budapesti toronyórák regulázásáról*” címmel Tittel megmagyarázta az olyan, időméréssel kapcsolatos csillagászati fogalmakat, mint a helyi idő, a valóságos dél és a középdel. Négy táblázatban adta meg a valóságos és középdel közötti időkülönbségeket Pest-Budára 1830-tól 1898-ig.

Tittel, külsőleg még tartva magát, de komor kedéllyel és telve keserűséggel Pyrker érsek iránt, dolgozott tovább Budán, annak tudatában, hogy csillagászként sikertelen marad. Nem tudnánk semmit kétségbeeséséről, ha egyszer ki nem öntötte volna szívét tanítványa, Albert Ferenc előtt, hogy „*nyom nélkül fog meghalni, és azt sem tudja majd senki, hogy ki volt ő*”. Albert csak egyszer látta derűsnek, amikor 1830-ban elsőik között lett tagja a Magyar Tudós Társaságnak.

Lélekben összetört, súlyos beteg ember volt Tittel élete utolsó éveiben. Végül már egyetemi előadásait sem tudta megtartani, mert vért köhögött, talán egy régi tuberkolózis folyományaként. Amikor 1831-ben híret vették a nagy kolerajárványnak Budán, félelmét és halálsejtelmeit emlegette. Augusztus 12-én hajókirándulást tett a Dunán kollégáival és asszisztensével, Alberttel együtt az „I. Ferenc” gőzösön. Innen visszatérve mutatkoztak rajta először a kolera jelei. Az orvosi kezelés eredményesnek látszott, de 1831. augusztus 26-án mégis heves láz tört rá, s meghalt hűséges tanítványa, Albert karjaiban. Az *Astronomische Nachrichten* 1832-es évfolyamában az alábbi rövid, de hibás értesítés jelent meg erről: „*1831 júniusában meghalt Budán Tittel igazgató*”.

Rövid utóirat és megjegyzés

Tittel szegénységben halt meg. Talán ez az oka, hogy nem maradt róla hű képmás. Mindenkinék a leírása szerint daliás férfi volt, nemes arcvonásokkal, melyek okosságról és jószívűségről tanúskodtak. Mindenki szerette elmés társalgásáért és tökéletes viselkedéséért.

Tanítványa, Albert Ferenc, akinek Tittel 1825 óta volt tanára és lelkiatyja, asszisztensként a csillagvizsgálóban maradt. Ő írta róla 1868-ban az említett életrajzt, melyben szeretettel és hálával állított emléket neki; ebből érthetjük meg utolsó éveinek tragédiáját.*

A 19. század harmincas-negyvenes éveiben, mint ismeretes, politikai erjedés volt egész Európában; ez a nem-politizáló tudósokat is érintette. 1849 májusában, a Duna menti fővárosért folytatott harcok során pusztult el a budai csillagvizsgáló. Ekkor tűntek el Tittel mérési eredményei és kéziratai.¹ Albert saját kezűleg mentett meg jó néhány könyvet és más dolgokat, s Egerbe vitte őket. A könyvek az egri csillagvizsgálóba kerültek, majd az egri líceum gazdag könyvtárába. A matematikai és csillagászati műveket később a Konkoly Csillagvizsgáló** szerezte meg.

Tittel budai csillagvizsgálójának ugyanaz lett a sorsa, mint a legtöbb korabeli német csillagvizsgálóé, amelyet Tittel is ismert. Eger ellenben kivétel, éppúgy mint Göttingen: ezek épségben vészelték át a múlt és jelen század nagy háborús pusztításait. Sértetlenül áll az Eszterházy Károly által építtetett egri líceum legfőbb látványossága a pompás könyvtár; hiánytalanul megvan a levéltár. Nem kevésbé figyelemreméltó a líceum tornya. Ott állnak ma is az értékes, 18. századi angol műszerek.

Az a remény, hogy az egri érseki levéltárban Gaussnak és más német csillagászoknak Tittelhez intézett leveleire bukkanhatunk, nem vált valórra. Sajnos az a levele sincs meg Gaussnak, amelyről Tittel 1818. január 18-i válaszlevelében így írt: „a szó szoros értelmében boldoggá tett engem”. Tittel széles körű levelezésének nyilván más, nyilvánosságra eddig még nem hozott bizonyítékai is vannak, a (tisztelt tanárának és barátjának, „Clarissimus” Gaussnak szóló) négy göttingeni levélén felül, és azon a (Schumacherhez intézett) másik négy levélén kívül, melyeket ma a berlini Német Állami Könyvtár archívumában őriznek. Tittel buzgalmát bizonyítják munkái, melyeket többségükben Németországban jelentetett meg.

Tittel nem volt zseni, jobb körülmények között és laikusként sem lett volna belőle soha a csillagászat gényusa, de méltó képviselője volt sze-

* További magyar életrajzokra Wurzbach utal. Újabb keletűek Pelle Béla és Perge Imre „Tittel Pál élete és tevékenysége” c., 1961-ben, Egerben megjelent tanulmányának közlései, ezeket azonban kellő nyelvismeret hiányában itt nem vehettem tekintetbe.

** A mai MTA Csillagvizsgáló Intézete. (A szerk.)

retett tudományának, melyet jámbor érziülettel, a „minden tudás az Istentől jön” szellemében művelt és tanított. Igazi felebaráti szeretettől fűtve, méltó módon töltötte be papi tisztét. Hű volt egyházához, de fanatizmus nélkül. Végül pedig öntudatos magyar volt, nem forradalmárként, hanem tudósként, aki saját teljesítményével és a nemzeteket összekapcsoló tudomány fejlesztésével igyekezett saját hazája — „Hungaria patria nostra desideratissima” javára lenni. Budai éveiben jelentős szellemi hatással volt Magyarország szellemi vezetőire. Életét az ebbe tragikussá, hogy ő is, akárcsak Kopernikusz, egy politikailag zűrzavaros korban akart két úrnőt szolgálni: Ecclesiát és Uraniát. Wurzbach így fogalmaz, nehézségeiről szólva: *„egyházi feletteseihez való viszonya zavarta munkásságát”*.

Azok a magyar tudománytörténészek, akik hazájuk helyét keresik a nyugati országok szellemtörténetében, a csillagászatban tág térre találhatnak: Eger és Budapestet illetőleg különösen termékeny terület ez számukra. (Kezdve a budai és az egri csillagvizsgáló tervezőjétől, a bécsi Hell Miksától, aki magát mindig magyarnak vallotta, a szakcsillagász Madarassyn, Pasquichon keresztül Tittelig és tanítványáig, Albert Ferencig, aki 1851-ben menedéket talált Egerben, és világi alkalmazottként gondozta a csillagvizsgálót, földrajzzal foglalkozva emellett.) Nekik kell tisztázniuk „sine ira et studio” Tittel életét, különösen vallástudományos hajlamainak kettősségét, és ezáltal sokoldalúbban bemutatni őt, mint ahogy nekem a távoli Németországból, korlátozott források felhasználása mellett ez lehetséges volt . . .

„Bizonyára nincs messze az idő,
amikor meg tudunk érteni olyan
egyszerű valamit, mint a csillag”
Eddington

100 ÉVE SZÜLETETT EDDINGTON

Sir Arthur Stanley Eddington 1882. december 28-án született az angliai Kendalban (Westmoreland). Elhunyt 1944. november 22-én. 1898 és 1902 között a Manchesteri Egyetem elődjét képező „Owen’s College”-ben, majd 1903 és 1905 között a Cambridge-i Egyetemen tanult. 1906 és 1913 között a Greenwichi Observatórium tudományos munkatársa volt, majd 1913-ban a Cambridge-i Egyetem csillagászati professzorának nevezték ki. 1914-ben a Cambridge-i Observatórium igazgatásával is megbízták. 1914-ben tagja lett az angol Királyi Társaságnak (Royal Society), amely a magyar akadémikusi rangnak felel meg.

Eddington a XX. századi csillagászat egyik legnagyobb alakja. Ő volt az, aki bebizonyította, hogy a csillagászat tudománya lényegesen több, mint egyszerű adatgyűjtés, azaz kellő matematikai és elméleti fizikai felkészültséggel a csillagok belső szerkezetére és légkörének állapotára is egzakt módszerekkel lehet következtetni. Így ő tekinthető a modern elméleti asztrofizika megalapítójának.

Kivételes elméleti képzettsége és nem mindennapi képességei tették lehetővé, hogy Eddington lényegeset alkosson az asztrofizika olyan területein, mint a csillagok belső szerkezete, a csillagatmoszférák felépítése, a csillagok pulzációja, a csillagközi anyag összetétele, továbbá a csillagok eloszlása és mozgása Tejútrendszerünkben.

Greenwichi tartózkodása idején a *asztellárstatisztika* alapvető kérdéseivel foglalkozott. A csillagok sajátmozgásának tanulmányozása alapján megállapította, hogy két csillagáram létezik. Foglalkozott a csillagok, a planetáris és diffúz ködök térbeli eloszlásának kérdéseivel is. Sztellárstatisztikai vizsgálatainak eredményeit az 1914-ben kiadott „*Stellar Movement and the Structure of the Universe*” című könyvében foglalta össze.

Cambridge-i tartózkodásának első évtizedét a *csillagok belső szerkezete kutatásának* szentelte. Feltételezte, hogy a csillagok belsejében az energiatranszportot elsősorban a sugárzás adja. Ennek alapján saját csillagmodellt dolgozott ki, amelyet ma is *Eddington-féle standard modellnek*

neveziünk. 1924-ben elméleti magyarázatot adott a már korábban ismert empirikus tömeg—fényesség relációra. Rámutatott arra, hogy a csillagok belseje teljesen ionizált, s így alkalmazható rá az ideális gázok állapotegyenlete.

Először adott meg módszert arra, hogy miképpen lehet a csillagok tömegét, illetve rádiuszát más állapothatározóikból kiszámítani. Így ő számította ki először a Sirius B sűrűségét, és eredményül $50\,000\text{ g/cm}^3$ -t kapott. Ezzel megindította a szupersűrű anyagok fizikájának kifejlődését. 1926-ban jelent meg korszakalkotó könyve az „Internal Constitution of Stars”, amelynek több fejezete mind a mai napig nem avult el, és így ma is az elméleti asztrofizikusok kézikönyvének számít.

Tudományos tevékenysége folyamán többször is foglalkozott a csillagok pulzációjának kérdésével. Még a 10-es évek végén bebizonyította, hogy a δ Cephei típusú csillagok nem kettősök, hanem fényváltozásukat a csillag pulzációja okozza. Kifejlesztette a csillagok pulzációjának elméletét adiabatikus, radiális és infinitezimális rezgés esetére. Félig tapasztalati módszerrel először bizonyította be azt a ma már alapvetőnek tekinthető tételt, miszerint a csillag pulzációjának periódusa közepes sűrűségének négyzetgyökével arányos. 1941-ben sikerült áthidalnia azt az ellentmondást, hogy a csillagok pulzációból adódó sugárváltozása és radiális sebességváltozása között fáziseltolódás van.

Eddington alapvető fontosságú tevékenységet fejtett ki a csillagok légkörének elméleti kutatása területén is. A csillagfotoszférákban az abszorpciós vonalak hullámhosszánál történő sugárzási energiatranszportra még az 1910-es években Karl Schwarzschild írta fel az áramlási egyenletet, amelyet ma „Schwarzschild-féle integro-differenciálegyenletnek” neveziünk. Ezt a bonyolult egyenletet csak bizonyos egyszerűsítő feltételek mellett lehet megoldani. Elsőként Schwarzschild és Schuster oldotta meg az egyenletet (ez a Schuster—Schwarzschild-modell), annak feltételezése mellett, hogy a szelektív és közepes opacitások hányadosa a fotoszféra határán ugrásszerűen változik. Ez a modell nem bizonyult kielégítőnek, ezért Eddington Milne-nel együtt kidolgozta a „Milne—Eddington-modell”-t, amelyben a szelektív és átlagos opacitások hányadosa a fotoszférában független a geometriai mélységtől. A modell értékét jellemzi, hogy közelítő számításoknál ma is ezt a modellt használjuk.

1926-ban véglegesen bebizonyította Hartmann sejtését, hogy bizonyos kettőscsillagok színekében fellelhető stacionárius vonalak a csillagközi térből származnak. Az intersztelláris vonalak tanulmányozásából következtetett a csillagközi anyag fizikai állapotára, azaz hőmérsékletére és sűrűségére.

Eddington az elsők között ismerte fel az Einstein-féle általános relativitáselmélet jelentőségét. 1923-ban könyvet is írt „The Mathematical Theory of Relativity” címmel, amelyben a relativitáselméletet precíz

matematikai alapokra helyezte. Einstein Eddingtont tekintette a relativitáselmélet legjobb interpretátorának. Eddington szervezte meg az 1919-es napfogyatkozás-expedíciót, amely a napközeli csillagok iránya elhajlásának mérésével *a relativitáselmélet első megfigyelési bizonyítékát* szolgáltatta.

Élete végén arra törekedett, hogy egy elméletbe egyesítse a kvantumfizikát és az általános relativitáselméletet. Mivel a 40-es években még sok elemi részecske nem volt ismert, továbbá a magfizika is fejletlen volt még, a „fundamentális elmélet” megalkotása nem járt sikerrel.

Eddington széles körű társadalmi tevékenységet is kifejtett. 1921 és 1923 között a Királyi Csillagászati Társaság, 1930 és 1932 között a Királyi Fizikai Társaság, 1938 és 1944 között pedig a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) elnöke volt. Ezenkívül sok ország tudományos akadémiaja (többek között a Szovjetunió Tudományos Akadémiája is) tiszteletbeli tagjává választotta.

A Royal Society minden évben Eddington-éremmel tünteti ki az arra érdemes csillagász kutatókat.

Születésének 100. évfordulóján tisztelettel adózunk az egész XX. századi asztrofizikára hatást gyakorló, korszakalkotó munkái előtt.

Tartalom

Táblázatok

A Nap és a Hold kelte és legfontosabb adatai	6
A Nap forgási tengelyének helyzete és a napkorong középpontjának héliografikus koordinátái 0 ^h világidőkor	30
A holdkorong sugara 0 ^h világidőkor	31
A szabad szemmel látható bolygók adatai	32
Az Uránusz és Neptunusz adatai	39
Bolygók héliocentrikus ekliptikai koordinátái (0 ^h világidőkor)	40
A jupiterholdak helyzetei és jelenségei	42
A Mars és a Jupiter centrálmeridiánjának planetografikus hosszúsága és adatok a Szaturnusz gyűrűjére vonatkozólag	50
Bolygókorongok megvilágításának adatai	52
Fényesebb csillagok katalógusa ($m \leq 3,5$)	53
Nagy napkitörések (H_{α} -flerek)	61
Kiegészítő tudnivalók a táblázatokhoz	63
A csillagos ég 1982-ben	65

Beszámolók

Szeidl Béla: A Magyar Tudományos Akadémia Csillagvizsgáló Inté- zetének működése 1980-ban	80
Balázs Béla: Az ELTE Csillagászati Tanszékének működése az 1979—1980. években	90
Ponori Thewrewk Aurél—Zombori Ottó: TIT Budapesti Planetá- rium és Uránia Bemutató Csillagvizsgáló az 1980. évben	98
Kanyó Sándor: A TIT Csillagászati és Űrkutatási Választmányának és Szakosztályainak 1980. évi tevékenysége	108

Cikkek

ifj. Kálmán Béla: A csillagászat legújabb eredményeiből	125
Schlosser Tamás: A Vénusz felszíne	143
Érdi Bálint: Rezonanciák a Naprendszerben	168
Barcza Szabolcs: A csillagászati fotometria kalibrálása effektív hő- mérsékletre és felszíni nehézségi gyorsulásra	188
Oláh Katalin: A változócsillagok eloszlása a Tejútrendszerben	208
Kun Mária: Óriás molekulafelhők a Tejútrendszerben	232
Lukács Béla—Paál György: A világ szerkezeti állandói	250
Büttner György: A Colormation-berendezés csillagászati alkalma- zásai	280
Schalk Gyula: Csillagászat és régészet	297
Martha Küssner: Gauss magyar tanítványa, az egri és budai csillag- vizsgáló igazgatója: Tittel Pál	313
Marik Miklós: 100 éve született Eddington	338

A horító és a kötésterv Radó Péter munkája

A kiadásért felel a Gondolat Könyvkiadó igazgatója

81. 13537 Petőfi Nyomda, Kecskemét

1981 Budapest

Felelős vezető: Ablaka István

Felelős szerkesztő: Gerner József és Schlosser Tamás

Műszaki vezető: Gonda Pál

Műszaki szerkesztő: Radó Péter

Megjelent 8000 példányban,

21,5 (A/5) ív + 8 oldal melléklet terjedelemben,
az MSZ 5601—59 és 5602—55 szabvány szerint

