

Додаток 1. Основні риси спектрів зірок головної послідовності. [5, стор.281]

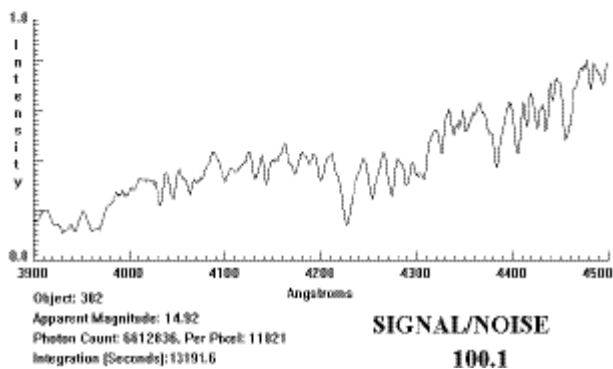
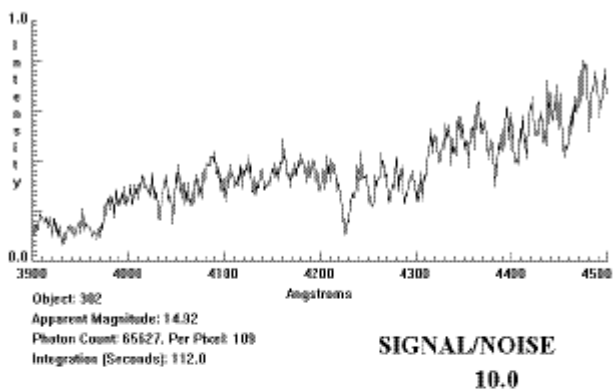
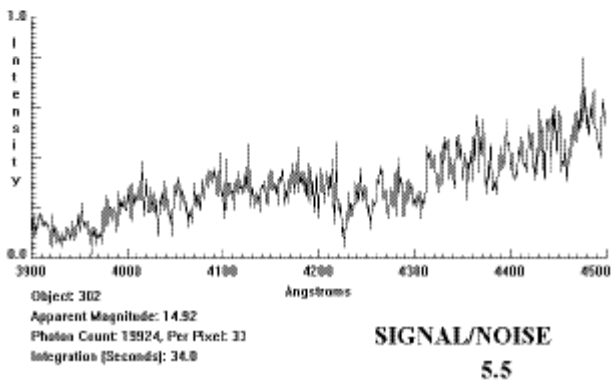
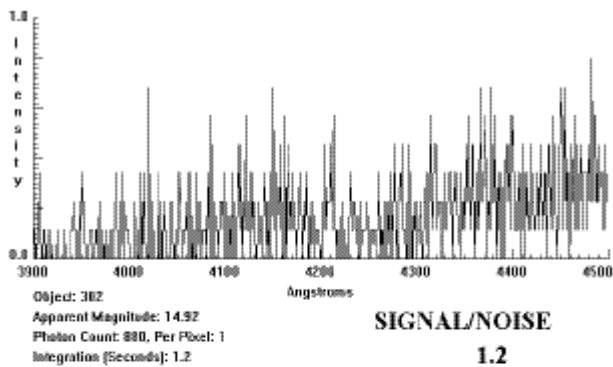
Спектральний Клас	Температура (тисяч К)	Основні лінії поглинання
O	28 – 40	He II
B	10 – 28	He I, H I посилюються в холодніших
A	8 – 10	H I (A0), потроху слабшають, Ca II зростає
F	6 – 8	Ca II зростає, H спадає, розвиваються лінії металів
G	4.9 – 6	Ca II сильні, Fe і метали сильні, інші метали, H слабкі
K	3.5 – 4.9	Сильні метали, появляються смуги CH і CN
M	2.0 – 3.5	Лінії металів, смуги TiO, Ca, ZrO (S-зірки), C(N-зірки)
WR	> 40	Широкі емісії He II, C III, CIV (WC), N II (WN)

Додаток 2. Що таке співвідношення сигнал/шум і чому ми повинні про нього турбуватися

Коли астрономи отримують спектр зірки, вони планують мати точне значення величини інтенсивності світла зірки для кожної довжини хвилі. Однак вони стикаються з такою ж проблемою, яку має слухач радіо, котрий хоче добре чути станції різних діапазонів. Наскільки важко почути радіосигнал, що тоне у болоті радіозавод та шумів, так же важко виділити корисний для нас “сигнал” – спектр – у потоці перешкод – “шумів”.

Основних джерел шумів два. Один із них називають фоновим. За походженням це світло, яке походить не від зірки, але проходить у спектрограф. Головне джерело це світло нічного неба, яке є завжди, навіть у безмісячні ночі. Світло нічного неба складається з трьох складових: емісії іоносфери, світло космічних об’єктів, розсіяне на міжпланетній та міжзоряній матерії і світло слабких зірок, та інших об’єктів, які ми з даним телескопом не розрізняємо. Вважають, що внесок кожної з цих складових приблизно однаковий і складає 1/3 в загальній інтенсивності. Яскравість нічного неба для місць з найкращим астрокліматом близько 21^m з квадратної секунди. Для більшості обсерваторій до перерахованих факторів також додається світло земних джерел: міст, доріг, технополісів, розсіяне атмосферою, тому загалом маємо аж 19^m з квадратної секунди.

Інший шум – квантовий – притаманний самому потоку світла від зірки, внаслідок його квантової природи. Це повний аналог відомого з електроніки “дробового шуму”, теж зумовленого дискретною природою носіїв струму. Чим менший світловий потік реєструється, тим більший внесок фотонного шуму. Для випадку одержання спектрів це справді актуально, бо фотонні флуктуації необхідно розглядати для вузької ділянки спектра, який приблизно рівний роздільній здатності спектрометра. В середньому число фотонів від зірки постійне, але на малих інтервалах часу та довжин хвиль ця кількість може суттєво змінюватися. Тобто, якщо ми будемо накопичувати світло за малі інтервали



часу, ми можемо на даній довжині хвилі отримати відлік спектру, який суттєво відрізняється від очікуваного.

Відношення величини сигналу до шуму, який ми хочемо виміряти, називається відношенням сигнал/шум (S/N). Якщо воно велике – десь біля 100 – можна бути впевненим, що спектр непоганий. Якщо воно близьке до 10 – випадковий фоновий і квантовий шуми видимі значно краще і тонкі особливості спектра губляться в шумі. Для отримання доброго S/N в загальному випадку, треба зібрати від зірки якнайбільшу кількісь фотонів. Це означає необхідність використання довгих експозицій або великих телескопів.

На рисунках показано, наскільки важливим є відношення S/N. Там приведено спектр зірки 14-ї величини з послідовно зростаючими експозиціями. Найменша експозиція відповідає $S/N = 1$. Це S/N настільки мале, що розрізнити будь-які спектральні особливості взагалі неможливо. Спектр, в основному, виглядає як випадковий шум. Те, що виглядає як лінії поглинання, насправді є просто випадковими флуктуаціями у тих місцях, де виявилось мало фотонів. При довшій експозиції, для якої $S/N = 5$, починає з'являтися

загальна форма спектра, але важко розібрати, чи дрібні лінії поглинання справжні, чи є простими флуктуаціями. Те ж справедливо для наступної експозиції з $S/N = 10$. Головні особливості спектра вже добре вирізняються, а дрібні лінії все ще видно непевно через шум. Тільки при довгих експозиціях з $S/N = 100$, можна вирізнити тонкі спектральні лінії на фоні шумів. На спектрах з $S/N = 100$ чи більшому, кожне значення інтенсивності має

точність до 1% і в цьому випадку навіть невеликі заглиблення в спектрі майже напевне походять від особливостей зоряного спектра, а не від шуму.

Але довгі експозиції отримати нелегко. Збільшення S/N від 10 до 100, всього в 10 раз, вимагає збільшення часу накопичення в 100 разів. (З двох хвилин експозиція зростає більше, ніж до трьох годин). Це тому, що S/N квантового шуму зростає як корінь від кількості фотонів, тому для того, щоб S/N зросло в 10 раз, треба, щоб кількість фотонів зросла в 100 разів.

Додаток 3. Діаграма спектральний клас - абсолютна зоряна величина [5, стор.284]

	Ia	Ib	II	III	IV	V	VII	VI
O5	-6.4			-5.4		-5.7		
B0	-6.7	-6.1	-5.4	-5.0	-4.7	-4.1	+10.2	
B5	-6.9	-5.7	-4.3	-2.4	-1.8	-1.1	+10.7	
A0	-7.1	-5.3	-3.1	-0.2	+0.1	+0.7	+11.3	
A5	-7.7	-4.9	-2.6	+0.5	+1.4	+2.0	+12.2	
F0	-8.2	-4.7	-2.3	+1.2	+2.0	+2.6	+12.9	
F5	-7.7	-4.7	-2.2	+1.4	+2.3	+3.4	+13.6	+4.8
G0	-7.5	-4.7	-2.1	+1.1	+2.9	+4.4	+14.3	+4.1
G5	-7.5	-4.7	-2.1	+0.7	+3.1	+5.1	+14.9	+2.0
K0	-7.5	-4.6	-2.1	+0.5	+3.2	+5.9	+15.3	-0.2
K5	-7.5	-4.6	-2.2	-0.2		+7.3	+15	-2.2
M0	-7.5	-4.6	-2.3	-0.4		+9.0	+15	-3
M2	-7		-2.4	-0.6		+10.0		
M5				-0.8		+11.8		
M8								

Додаток 4. Основний список галактик для вимірювання z

Номер	Назва	Пряме підн.	Схилення	Величина	Швидкість
1	1202+3127	12 02 10.2	31 00 20		
2	NGC 4080	12 02 18.5	27 16 15		
3	NGC 4104	12 04 06.0	28 27 10		
4	NGC 4131	12 06 12.0	29 35 00		
5	NGC 4132	12 06 30.0	29 31 00		
6	NGC 4134	12 06 36.0	29 27 00		
7	1206+3151	12 06 36.0	31 51 00		
8	NGC 4136	12 06 48.0	30 12 00		
9	NGC 4150	12 08 00.0	30 41 00		
10	NGC 4137	12 09 48.0	29 29 00		
11	NGC 4174	12 09 54.0	29 25 00		
12	NGC 4175	12 09 59.1	29 26 48		
13	NGC 4185	12 10 48.0	28 47 00		
14	NGC 4196	12 11 54.0	28 42 00		
15	NGC 4211a	12 13 04.2	28 27 18		
16	1214+2900	12 14 12.0	29 00 27		
17	NGC 4245	12 15 06.0	29 53 00		
18	NGC 4251	12 15 36.0	28 27 00		
19	NGC 4253	12 15 55.6	30 05 26		
20	IC 777	12 16 54.0	28 35 00		

21	NGC 4274	12 17 18.0	29 53 00		
22	NGC 4272	12 17 18.0	30 37 00		
23	NGC 4275	12 17 24.0	27 54 00		
24	NGC 4278	12 17 36.2	29 33 31		
25	NGC 4283	12 17 49.8	29 35 12		
26	1217+3127	12 17 54.0	31 27 00		
27	NGC 4286	12 18 12.0	29 38 00		
28	NGC 4308	12 19 24.0	30 20 00		
29	NGC 4310	12 19 54.0	29 29 00		
30	NGC 4314	12 20 00.0	30 10 00		
31	NGC 4359	12 21 42.0	31 48 00		
32	NGC 4375	12 22 30.6	28 50 06		
33	NGC 4393	12 23 18.0	27 50 00		
34	NGC 4414	12 24 00.0	31 30 00		
35	IC 3376	12 25 18.0	27 16 00		
36	NGC 4448	12 25 48.0	28 54 00		
37	IC 3407	12 26 30.0	28 04 00		
38	NGC 4475	12 27 18.0	27 32 00		
39	NGC 4495	12 28 54.0	29 25 00		
40	1229+2959	12 29 18.0	29 59 00		
41	NGC 4514	12 30 06.0	30 00 00		
42	NGC 4525	12 31 18.0	30 34 00		
43	NGC 4556	12 33 18.0	27 11 00		
44	NGC 4559	12 33 30.0	28 14 00		
45	NGC 4585	12 35 42.0	29 13 00		
46	IC 3651	12 38 18.0	27 00 00		
47	1240+2800	12 40 36.0	28 00 00		
48	1242+2845	12 42 11.7	28 44 35		
49	NGC 4670	12 42 49.9	27 23 56		
50	NGC 4673	12 43 07.6	27 20 03		
51	IC 821	12 45 00.0	30 04 00		
52	1245+2715	12 45 15.6	27 15 12		
53	NGC 4692	12 45 28.8	27 29 48		
54	1250+2839	12 50 24.0	28 39 00		
55	NGC 4789	12 51 54.8	27 20 18		
56	NGC 4793	12 52 16.0	29 12 30		
57	NGC 4798	12 52 36.0	27 41 00		
58	NGC 4807	12 53 06.0	27 47 00		
59	NGC 4816	12 53 48.0	28 01 00		
60	NGC 4819	12 54 00.0	27 15 00		
61	NGC 4827	12 54 18.0	27 27 00		
62	1254+3059b	12 54 36.0	30 59 00		
63	NGC 4839	12 54 59.4	27 46 00		
64	1255+2749	12 55 00.0	27 49 00		
65	NGC 4841a	12 55 07.2	28 44 48		
66	NGC 4841b	12 55 09.0	28 45 06		
67	NGC 4484	12 55 42.0	28 31 00		
68	NGC 4853	12 56 10.3	27 52 00		
69	NGC 4860	12 56 39.6	28 23 36		
70	NGC 4865	12 56 55.0	28 21 12		
71	NGC 4872	12 57 10.0	28 13 09		
72	NGC 4874	12 57 10.8	28 13 48		
73	NGC 4892	12 57 36.8	27 10 00		

74	NGC 4889	12 57 43.5	28 14 46		
75	NGC 4895	12 57 52.8	28 28 12		
76	IC 842	12 58 12.0	29 17 00		
77	NGC 4907	12 58 24.0	28 25 00		
78	NGC 4911	12 58 30.0	28 03 00		
79	NGC 4921	12 59 00.0	28 09 00		
80	NGC 4923	12 59 07.2	28 06 54		
81	NGC 4926	12 59 29.4	27 53 36		
82	NGC 4929	13 00 20.0	28 18 48		
83	NGC 4931	13 00 36.6	28 18 02		
84	NGC 4944	13 01 25.9	28 27 13		
85	NGC 4952	13 02 36.0	29 24 00		
86	NGC 4957	13 02 48.6	27 50 12		
87	NGC 4961	13 03 24.0	28 00 00		
88	NGC 4966	13 03 54.0	29 20 00		
89	NGC 4983	13 06 00.0	28 35 00		
90	1306+2827	13 06 30.0	28 27 00		
91	NGC 5000	13 07 24.0	29 10 00		
92	NGC 5004	13 08 42.0	29 54 00		
93	1309+3146	13 09 18.0	31 46 00		
94	NGC 5032	13 11 00.0	28 04 00		
95	NGC 5041	13 12 12.0	30 58 00		
96	NGC 5052	13 13 12.0	29 55 00		
97	NGC 5056	13 13 48.0	31 12 00		
98	NGC 5057	13 14 06.0	31 17 00		
99	NGC 5065	13 15 12.0	31 20 00		
100	NGC 5074	13 16 06.0	31 44 00		
101	NGC 5081	13 16 48.0	28 46 00		
102	NGC 5089	13 17 18.0	30 31 00		
103	1318+3147	13 18 00.0	31 47 00		
104	1319+3137	13 19 18.0	31 37 00		
105	1319+3130	13 19 24.0	31 30 00		
106	NGC 5116	13 20 36.0	27 15 00		
107	NGC 5117	13 20 36.0	28 35 00		
108	IC 4234	13 20 42.0	27 23 00		
109	NGC 5127	13 21 24.0	31 50 00		
110	NGC 5131	13 21 37.4	31 14 53		
111	NGC 5187	13 27 29.8	31 23 17		
112	1327+3135	13 27 58.4	31 35 27		
113	1328+3153	13 28 07.9	31 52 43		
114	NGC 5252	13 35 05.2	27 40 25		
115	1337+2801	13 37 25.1	28 01 47		
116	NGC 5263	13 37 36.5	28 39 10		
117	NGC 5280	13 40 36.0	30 07 00		
118	1340+3036	13 40 52.0	30 35 19		
119	NGC 5282	13 41 06.0	30 20 00		
120	1345+3035	13 45 00.0	30 35 00		
121	1348+2824	13 48 12.0	28 24 00		
122	1348+2937	13 48 12.0	29 37 00		
123	NGC 5375	13 54 30.0	29 35 00		
124	1355+2902	13 55 04.0	29 02 23		
125	IC 4355	13 55 48.0	28 40 00		
126	1357+2819	13 57 23.6	28 18 13		

127	1358+3019	13 58 30.0	30 19 00		
128	1358+2948	13 58 42.0	29 48 00		
129	1358+2946	13 58 48.0	29 46 00		
130	1400+2816	14 00 48.1	28 16 17		
131	1402+2809	14 02 18.0	28 09 00		
132	1405+3006	14 05 42.0	30 06 49		
133	IC 4384	14 09 36.0	27 21 00		
134	NGC 5512	14 10 24.0	31 05 00		
135	1411+2714	14 11 01.0	27 14 30		
136	1411+2940	14 11 30.0	29 40 00		
137	IC 4395a	14 16 06.1	27 05 15		
138	IC 440327	14 16 06.0	31 53 00		
139	1418+2705	14 18 18.0	27 05 00		
140	IC 4408	14 19 00.0	30 13 00		
141	IC 4409	14 19 18.0	31 49 00		
142	IC 4422	14 23 42.0	30 42 00		
143	IC 4425	14 24 30.0	27 25 00		
144	1424+3144	14 24 48.9	31 44 20		
145	IC 1012	14 25 00.5	31 10 17		
146	1426+2729	14 26 18.0	27 29 00		
147	NGC 5635	14 26 18.0	27 38 00		
148	IC 4442	14 26 34.1	29 11 16		
149	NGC 5693a	14 26 42.0	30 38 07		
150	NGC 5642	14 27 00.0	30 15 00		
151	NGC 5641	14 27 05.4	29 02 36		
152	IC 4447	14 27 06.0	31 03 00		
153	1427+2745	14 27 59.1	27 45 00		
154	NGC 5653	14 28 00.0	31 26 17		
155	NGC 5657	14 28 30.0	29 24 00		
156	1428+2727	14 28 56.3	27 27 30		
157	IC 4450	14 29 54.0	28 46 00		
158	IC 4452	14 30 12.0	27 39 00		
159	NGC 5672	14 30 30.0	31 53 00		
160	1431+2816	14 31 29.8	28 16 22		
161	1431+2810	14 31 54.0	28 10 00		
162	1432+3146	14 32 12.0	31 46 00		
163	IC 4459	14 32 18.0	31 11 00		
164	IC 4460	14 32 24.0	30 30 00		
165	NGC 5685	14 34 00.0	30 07 00		
166	NGC 5709	14 36 36.0	30 39 00		
167	1436+3110	14 36 48.0	31 10 00		
168	1437+3143	14 37 54.0	31 43 00		
169	1438+3135	14 38 24.0	31 35 00		
170	1439+3151	14 39 18.0	31 51 00		
171	NGC 5735	14 40 12.0	28 56 00		
172	IC 4497	14 42 06.0	28 45 00		
173	1443+3038	14 43 18.0	30 37 00		
174	1447+2759a	14 47 06.0	27 59 00		
175	1447+2759	14 47 17.8	27 59 12		
176	IC 4514	14 48 42.0	27 46 00		
177	NGC 5771	14 50 00.0	30 03 00		
178	NGC 5773	14 50 18.0	30 00 00		
179	1452+3025a	14 52 00.0	30 25 00		

180	NGC 5780	14 52 12.0	29 09 00		
181	NGC 5789	14 54 24.0	30 25 00		
182	NGC 5798	14 55 30.0	30 10 00		
183	1457+2719	14 57 24.0	27 19 00		
184	IC 4533	15 02 22.1	27 59 13		
185	1502+2711	15 02 30.0	27 11 00		
186	1503+3121	15 03 32.6	31 21 20		
187	1515+3052	15 15 57.1	30 52 13		
188	1517+3133	15 17 48.0	31 33 00		
189	1519+2844	15 19 12.0	28 44 00		
190	NGC 5924	15 19 54.0	31 24 00		
191	1520+2957	15 20 41.0	29 56 53		
192	IC 4546	15 24 54.0	29 01 00		
193	1527+3039	15 27 37.9	30 39 23		
194	1528+2716	15 28 12.0	27 16 00		
195	NGC 5958	15 32 42.0	28 50 00		
196	1533+2730	15 33 06.0	27 30 00		
197	NGC 5961	15 33 12.0	31 01 00		
198	1533+3058	15 33 15.4	30 58 00		
199	1534+3050	15 34 17.7	30 50 47		
200	NGC 5974	15 37 00.0	31 55 00		
201	IC 4568	15 38 00.0	28 19 00		
202	1538+2831	15 38 24.0	28 31 00		
203	IC 4569	15 38 42.0	28 28 00		
204	1539+2809	15 39 18.0	28 09 00		
205	IC 4570	15 39 18.1	28 23 20		
206	IC 4572	15 39 48.0	28 18 00		
207	IC 4580	15 41 06.0	28 31 00		
208	1541+2835	15 41 42.0	28 35 00		
209	IC 4581	15 41 54.0	28 26 00		
210	IC 4582	15 43 36.0	28 15 00		
211	1544+3025	15 44 18.0	30 25 00		
212	1544+3110	15 44 44.6	31 09 53		
213	NGC 6001	15 45 42.0	28 48 00		
213	1546+2746	15 46 54.0	27 46 00		
215	1548+2847	15 48 30.0	28 47 00		
216	1552+3018	15 52 06.0	30 18 00		
217	NGC 6016	15 53 54.0	27 07 00		
218	1555+3011	15 55 27.3	30 11 57		

Додаток 5. Заготовка клиновидної діаграми – файл Figs\Cline.gif

Додаток 6. Список зірок для фотометрії.

Зірка	Альфа	Дельта	U	B	V	B-V
1	03 41 05	24 05 11				
2	03 42 15	24 19 57				
3	03 42 33	24 18 55				
4	03 42 41	24 28 22				
5	03 43 08	24 42 47				
6	03 43 08	25 00 46				
7	03 43 39	23 28 58				
8	03 43 42	23 20 34				

9	03 43 56	23 25 46				
10	03 44 03	24 25 54				
11	03 44 11	24 07 23				
12	03 44 19	24 14 16				
13	03 44 27	23 57 57				
14	03 44 39	23 27 17				
15	03 44 39	24 34 17				
16	03 44 45	23 24 52				
17	03 45 09	24 50 59				
18	03 45 27	23 17 57				
19	03 45 28	23 53 41				
20	03 45 33	24 12 59				
21	03 46 26	23 41 11				
22	03 46 26	23 49 58				
23	03 46 57	24 04 51				
24	03 47 29	24 20 34				

Додаток 7. Головна послідовність, клас світності V.

Абсолютна величина, V	Показник кольору, B-V	Спектральний клас
-5.8	-0.35	O5
-4.1	-0.31	B0
-1.1	-0.16	B5
-0.7	0.00	A0
2.0	0.13	A5
2.6	0.27	F0
3.4	0.42	F5
4.4	0.57	G0
5.1	0.70	G5
5.9	0.89	K0
7.3	1.18	K5
9.0	1.45	M0
11.8	1.63	M5
16.0	1.80	M8

Додаток 8. Обчислення швидкості обертання Меркурія

Δt	120	210	300	390
x				
y				
Δf_{left}				
Δf_{right}				
Δf_{tot}				
Δf_c				
V_0				
V				
P				

Список літератури

1. Методические рекомендации к астрофизическому практикуму // Сост.В.Н.Ивченко, Киев, КГУ, 1986, 48 стр.
2. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики, М., Наука, 1977, #16, с.284-292.
3. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, М., Наука, 1988, #8, с.117-129.
4. Ленг К. Астрофизические формулы, М., Мир, 1978, т.2, #5.5.2-5.5.3, с.290-301.
5. Аллен К.У. Астрофизические величины, М., Мир, 1977, с.281, 284.
6. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики, изд. 3-е, М.Наука, 1985.
7. Jacoby, Hunter, and Christian. 1984. *Astrophys. J. Suppl.* 56, 256.
8. А.Г.Гут, П.Дж.Стейнхардт. Раздувающаяся Вселенная. В мире науки, 1984, №7, 56-68.
9. Д.Силк, А.Ш.Салам, Я.Б.Зельдович. Крупномасштабная структура Вселенной. В мире науки, 1983, №12, 26-35.
10. Дж.О.Бернс. Гигантские структуры Вселенной. В мире науки. 1986, №9, 12-23.
11. А.Виленкин. Космические струны. В мире науки, 1988, №2, 36-43.
13. С.Вусли, Т.Уивер. Грандиозная сверхновая 1987 г. В мире науки, 1989, №10, 14-23.
14. Н.Соукер. Планетарные туманности. В мире науки, 1992, №7, 26-34.
15. Л.М.Краус. Невидимое вещество во Вселенной. В мире науки, 1987, №2, 80-42.
16. Х.Г.Гонсалес. Эволюция пульсаров. В мире науки, 1986, №6, 16-27.
17. Я..Шейхем. Самые старые пульсары. В мире науки, 1987, №4, 22-29.
18. П.В.Фоукал. Переменное Солнце. В мире науки, 1990, №4, 14-22.
19. С.Дж.Бранс. Как космология стала наукой. В мире науки, 1992, №9-10, 102-108.
20. Дж.Уолкер. Как определить расстояние до Солнца, наблюдая за следом метеора. В мире науки, 1987, №5, 82-87.
21. Хукра, Геллер Спектральный обзор Com
22. Rukl, Atlas of the Moon
23. Wilkins , Moore about Moon

Зміст

1. Класифікація спектрів зірок	6
2. Співвідношення Хаббла	20
3. Великомасштабна структура Всесвіту	27
4. Потік енергії від Сонця	35
5. Фотоелектрична фотометрія Плеяд	41
6. Радіоастрономія пульсарів	46
7. Радіолокаційні спостереження Меркурія	57
8. Астрометрія астероїдів	63
9. Орбітальний рух супутників Юпітера	73
10. Топографія Місяця	76
Додатки	79
Список літератури	87

Навчальне видання

Під редакцією
ІВЧЕНКО Василь Миколайович
ЧОЛІЙ Василь Ярославович

ЗАГАЛЬНА АСТРОФІЗИКА. ПРАКТИКУМ. Частина 1.

Методичний посібник
для студентів фізичного факультету

Редактор