

ГИД НА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМ

2020

Катедра „Астрономия“
Физически факултет
Софийски университет „Св. Климент Охридски“



„Гид на любителя астроном“ съдържа информация за предстоящите през годината по-забележителни астрономически явления, като е отделено повече внимание на условията за тяхното наблюдение от България.

Книжката съдържа и няколко авторски статии на различни теми от астрономията и астрономическата оптика. Целта е тази информация да бъде полезна за широк кръг читатели, проявяващи интерес към астрономията, и за любителите астрономи при планирането на техните наблюдения.

ПЕНЧО МАРКИШКИ

ГИД НА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМ

2020

София • 2020

Университетско издателство „Св. Климент Охридски“

Изданието е финансирано със средства
по Договор Д01-277/16.12.2019 г. с МОН

На корицата: колона от двореца във Велики Преслав
на фона на Млечния път
Снимка: авторът

© 2020 Пенчо Маркишки

© 2020 Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“

© 2020 Университетско издателство „Св. Климент Охридски“

ISBN 978-954-07-4903-7

СЪДЪРЖАНИЕ

Начало на сезоните 2020 г.	7
Фази на Луната, перигеи и апогеи, лунни явления	8
Етапи на полумрака	11
Слънчеви и лунни затъмнения	13
Видимост на планетите от Слънчевата система	22
По-забележителни взаимни съединения между ярки планети.....	28
Окултации на ярки планети от Луната за България	32
Ярки комети.....	34
По-интензивни метеорни потоци	38
По-важни космически мисии през 2020 г.	42
Спектроскопия за астрономи любители	46
В дълбините на пролетното звездно небе	86

НАЧАЛО НА СЕЗОНИТЕ 2020 г.

Астрономическа пролет: 20 март, 05^h 50^m (пролетно равноденствие)

Астрономическо лято: 21 юни, 00^h 44^m (лятно слънцестоене, най-дългият ден в годината, траещ 15 часа и 19 минути)

Астрономическа есен: 22 септември, 16^h 31^m (есенно равноденствие)

Астрономическа зима: 21 декември, 12^h 02^m (зимно слънцестоене, най-късият ден в годината, траещ 09 часа и 2 минути)

Земята ще бъде в перихелий – най-близо до Слънцето по своята орбита (на 147 091 144 km) на 5 януари в 09^h 48^m

Земята ще бъде в афелий – най-далеч от Слънцето (на 152 095 295 km) на 4 юли в 14^h 35^m

2020 г. е високосна.

През 2020 г. лятно часово време (EEST, с 1 час напред) ще се въведе на 29 март в 03^h 00^m.

Връщането към зимно часово време (EET, с 1 час назад) ще стане на 25 октомври в 04^h 00^m.

Всички моменти на астрономическите явления, посочени тук, са в българско официално време.

Предвиденото от Европейската комисия прекратяване на сезонната смяна на часовото време в страните – членки на ЕС, е отложено за 2021 г., като не е изключено да има и следващо отлагане.

ФАЗИ НА ЛУНАТА, ПЕРИГЕИ И АПОГЕИ, ЛУННИ ЯВЛЕНИЯ

Таблица 1. Лунни фази за 2020 г.

	Първа четвърт 	Пълнолуние 	Последна четвърт 	Новолуние 	Първа четвърт 
Месец	d h m	d h m	d h m	d h m	d h m
Януари	3 06 45	10 21 21	17 14 58	24 23 42	—
Февруари	2 03 42	9 09 33	16 00 17	23 17 32	—
Март	2 21 57	9 19 48	16 11 34	24 11 28	—
Април	1 13 21	8 05 35	15 01 56	23 05 26	30 23 38
Май	—	7 13 45	14 17 03	22 20 39	30 06 30
Юни	—	5 22 12	13 09 24	21 09 41	28 11 16
Юли	—	5 07 44	13 02 29	20 20 33	27 15 32
Август	—	3 18 59	11 19 45	19 05 42	25 20 58
Септември	—	2 08 22	10 12 26	17 14 00	24 04 55
Октомври	—	2 00 05 31 16 49	10 03 39	16 22 31	23 16 23
Ноември	—	30 11 29	8 15 46	15 07 07	22 06 45
Декември	—	30 05 28	8 02 37	14 18 17	22 01 41

Пълнолунието на 31 октомври е второ за този месец, като явлението се нарича Синя Луна.

В нощта на 7 срещу 8 април ще бъдат най-близките във времето пълнолуние и перигей за 2020 г. Явлението е популярно като Супер Луна или суперлуние (подробности – в текста по-долу). Перигеят на Луната ще бъде на 7 април в 21^h 10^m – с 8 часа и 25 минути преди пълнолунието на 8 април в 05^h 35^m (вж. табл. 2).

За суперлуние ще се счита и предното пълнолуние – на 9 март в 19^h 48^m, което е при разстояние Земя – Луна 357 399 km. Перигеят на Луната ще бъде на 10 март в 08^h 34^m при разстояние 357 122 km.

Новолунието на 16 октомври в 22^h 31^m ще предхожда с 4 часа и 17 минути перигея на 17 октомври в 02^h 48^m, което принципно също е суперлуние.

Синя Луна имаме в два случая:

1. Ако в началото и в края на някой календарен месец настъпват пълнолуния, което значи, че лунният синодичен месец, траещ 29 денонощия, 12 часа, 44 минути и 3 секунди средно (29,53059 дни), се побира изцяло в някой от календарните месеци.

2. Ако в някой от годишните сезони настъпят четири пълнолуния, то **третото от тях** се нарича Синя Луна.

През есента на 2020 г. ще има четири пълнолуния, но тъй като през октомври ще има две, за Синя Луна ще се смята второто пълнолуние на 31 октомври, а не третото за сезона – на 8 ноември.

Явлението Синя Луна няма нищо общо с видимия цвят на Луната. Трябва да се прави разлика между това явление и редките случаи, когато поради инжектиран прах или дим високо в атмосферата – при горски пожари или следствие вулканични изригвания, Луната може да изглежда леко синееща. Това се случва, когато вдигнатите прахови частици са с еднакъв размер – малко по-голям от дължината на вълната на червената светлина (около 0,7 микрона).

Таблица 2. Перигеи на Луната за 2020 г.

Месец	d h m	Разстояние [km]
Януари	13 22 22	365 963
Февруари	10 22 32	360 463
Март	10 08 34	357 122
Април	7 21 10	356 908
Май	6 06 05	359 655
Юни	3 06 38	364 365
Юни	30 05 10	368 957
Юли	25 07 55	368 366
Август	21 14 00	363 512
Септември	18 16 45	359 080
Октомври	17 02 48	356 912
Ноември	14 13 49	357 838
Декември	12 22 43	361 776

Таблица 3. Апогеи на Луната за 2020 г.

Месец	d h m	Разстояние [km]
Януари	2 03 31	404 578
Януари	29 23 29	405 389
Февруари	26 13 36	406 276
Март	24 17 24	406 688
Април	20 22 02	406 461
Май	18 10 46	405 583
Юни	15 03 58	404 596
Юли	12 22 28	404 200
Август	9 16 52	404 657
Септември	6 09 32	405 605
Октомври	3 20 24	406 319
Октомври	30 20 47	406 392
Ноември	27 02 30	405 890
Декември	24 18 33	405 009

Супер Луна (перигейна сизигия в системата Земя–Луна–Слънце) имаме при близки във времето пълнолуние (или новолуние) и перигей, т.е. когато Луната се приближава най-много до Земята, обикаляйки я по своята елиптична орбита. Времето между две последователни преминавания на Луната през перигея е средно 27,55455 дни – т.нар. **аномалистичен месец**. Времето между две последователни едноименни лунни фази (например от пълнолуние – до следващото пълнолуние) е средно 29,53059 дни – **синодичен месец**. Разликата между двата типа месеци се натрупва във времето и води до съвпадение на пълнолуние (или новолуние) с перигей веднъж на около 411,8 дни.

Пълнолунията, случващи се при разстояния Земя – Луна, по-малки от 360 000 km, се обявяват за суперлуния. Поради това в годината могат да бъдат обявени две или три съседни пълнолуния като суперлуния.

Суперлунията при близки във времето новолуние и перигей не могат да се наблюдават, поради което обикновено те не се обявяват.

При суперлуние с невъоръжено око не е възможно да се отчете разлика във видимия диаметър на Луната. Тогава той е с близо 7% по-голям от случая, когато нашият естествен спътник е на средно разстояние от Земята – на 384 403 km. При суперлуние Луната е с близо 16% по-ярка, но тъй като няма с какво да сравним тази повишена яркост, не можем да оценим разликата визуално.

ЕТАПИ НА ПОЛУМРАКА

За продължителност на деня се приема времето от изгрева до залеза на Слънцето за дадено географско място, но известно време преди изгрева и след залеза земната повърхност се осветява от разсеяна слънчева светлина, идваща от горните слоеве на атмосферата. Тази осветеност бавно намалява вечер до настъпването на нощния мрак и бавно нараства рано сутрин до момента на изгрева. Това е времето на полумрака, наричан още сумрак или здрач. Полу мракът се подразделя на три етапа: граждански, навигационен и астрономически.

Гражданският полумрак започва вечер от момента на залеза на Слънцето и завършва, когато центърът на слънчевия диск слезе на 6° под хоризонта. Около края на гражданския полумрак работата на открито и различаването на цветовете на естествена светлина вече са затруднени, а по небето се забелязват най-ярките звезди и планети. Препоръчително е уличното осветление да се включва около края на гражданския полумрак.

Навигационният полумрак (популярен още като **морски полумрак**) завършва вечер, когато центърът на слънчевия диск слезе на 12° под хоризонта. Около този момент при отсъствието на Луната човешкото зрение трудно различава самия хоризонт, поради което измерването на височините на звезди за целите на навигацията вече е невъзможно.

Астрономическият полумрак завършва вечер, когато центърът на слънчевия диск слезе на 18° под хоризонта. От този момент, от място, отдалечено от светлините на населени райони и при отсъствие на Луната, с невъоръжено око могат да се забележат звезди до около шеста видима звездна величина (6 mag).

В края на нощта трите етапа на полумрака следват в обратен ред. Първо започва астрономическият – при Слънце на 18° под хоризонта. Следва навигационният – при Слънце на 12° под хоризонта. Последен започва гражданският полумрак – при Слънце на 6° под хоризонта. Полумракът завършва с изгрева на Слънцето.

Таблица 4. Продължителност на етапите на полумрака през годината за географската ширина на София

		Граждански	Навигационен	Астрономически
Дата		h m	h m	h m
Януари	1	00 32	01 07	01 42
	15	00 31	01 06	01 40
Февруари	1	00 30	01 04	01 37
	15	00 29	01 02	01 35
Март	1	00 28	01 00	01 33
	15	00 28	01 01	01 34
Април	1	00 28	01 02	01 37
	15	00 29	01 04	01 42
Май	1	00 31	01 08	01 50
	15	00 32	01 13	01 59
Юни	1	00 34	01 18	02 10
	15	00 35	01 20	02 16
Юли	1	00 34	01 20	02 15
	15	00 34	01 17	02 08
Август	1	00 32	01 12	01 57
	15	00 30	01 08	01 48
Септември	1	00 29	01 03	01 40
	15	00 28	01 01	01 36
Октомври	1	00 28	01 01	01 34
	15	00 29	01 01	01 34
Ноември	1	00 30	01 03	01 36
	15	00 30	01 04	01 38
Декември	1	00 31	01 06	01 40
	15	00 32	01 08	01 42

СЛЪНЧЕВИ И ЛУННИ ЗАТЪМНЕНИЯ

През 2020 г. ще се наблюдават общо шест затъмнения – две слънчеви и четири лунни. Слънчевите затъмнения ще бъдат пръстеновидно и пълно, а четирите лунни – само от полусянката на Земята.

При този тип лунни затъмнения Луната преминава само през полусянката на Земята, което води до леко понижаване на яркостта на лунния диск, особено към единия му край – този, който се намира по-близо до пълната земна сянка. Частични фази и пълна фаза изобщо не се наблюдават, поради което мнозина смятат тези явления за неатрактивни. Възможно е да се наблюдават оцветявания на лунния диск в съвсем леки нюанси, тъй като малка част от слънчевата светлина, осветяваща Луната тогава, е пречупена през земната атмосфера и носи топли тонове.

Някои важни понятия, описващи затъмненията, като максимална фаза (magnitude) и закрита площ (obscuration) са разяснени в края на тази част.

1. Лунно затъмнение от полусянката на Земята на 10 януари

Това е първото затъмнение за 2020 г, което ще бъде видимо и от България. То ще се наблюдава от западната част на Тихия океан, Азия, Австралия, Европа, Индийския океан, Африка, северната и източната част на Атлантическия океан и Арктика.

Момент на геоцентричната опозиция на Луната по еклиптична дължина: 10 януари 2020 г. в 21^h 21^m 18^s.

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 19^{\text{h}} 26^{\text{m}} 32^{\text{s}}$ $\delta = -21^{\circ} 56' 50''$, в съзвездиято Стрелец

Луна: $\alpha = 07^{\text{h}} 26^{\text{m}} 46^{\text{s}}$ $\delta = +23^{\circ} 00' 03''$, в съзвездиято Близнаци.

Характерни моменти от явлението

Начало на затъмнението от полусянката на Земята (контакт P1): 19^h 07^m 45^s

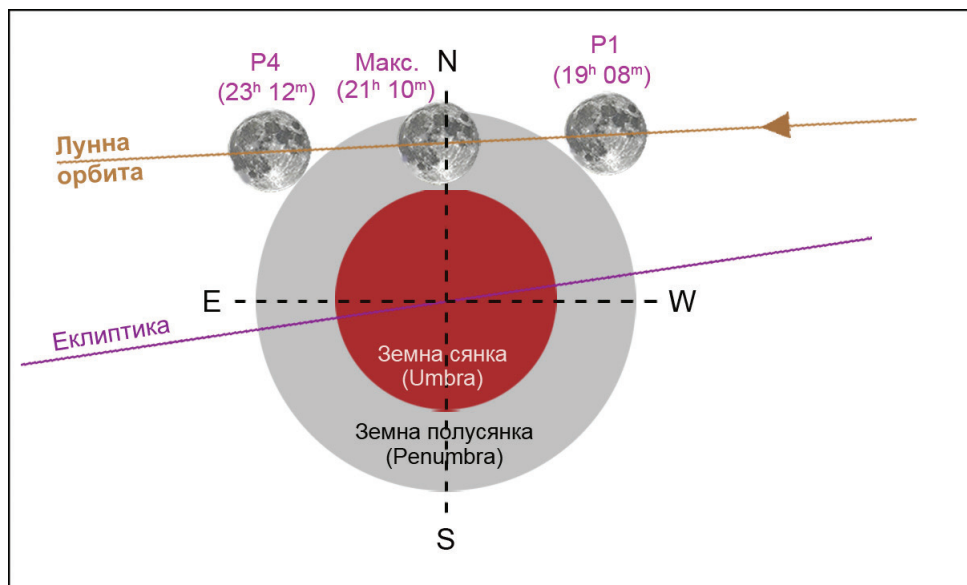
Максимална фаза: 21^h 10^m 01^s

Край на затъмнението от полусянката (контакт P4): 23^h 12^m 24^s

Продължителност на затъмнението от полусянката на Земята: 4 часа, 04 минути и 39 секунди.

Максимална фаза на затъмнението от полусянката на Земята: 0,895

Максимална фаза на затъмнението от сянката на Земята: $-0,116$ (отстояние до земната сянка в лунни диаметри)



Премаването на Луната през земната полусянка на 10 януари вечерта. Моментите P1 и P4 са на първия и на последния контакт на Луната със земната полусянка (penumbra)

В началото на затъмнението в $19^{\text{h}} 07^{\text{m}} 45^{\text{s}}$ за България Луната ще бъде над източния хоризонт, на височина около $21^{\circ} 20'$ за наблюдател от София и около $24^{\circ} 40'$ за Варна. В началото и към края на явлението няма да се забелязва разлика от обичайния вид на пълната Луна. Едва около момента на максималната фаза в $21^{\text{h}} 10^{\text{m}}$ южната (видимо долната дясна) част на лунния диск ще изглежда посивяла. По-удачно ще бъде, ако явлението се наблюдава фотографски – намалената яркост на южната част на лунния диск ще личи по-добре върху снимки.

2. Лунно затъмнение от полусянката на Земята на 5 юни

Това е второто лунно затъмнение за годината, което също ще бъде видимо от България. Ще се наблюдава от най-западните части на Тихия океан, Япония, Азия, Австралия, Индийския океан, Европа, Африка, южната и източната част на Атлантическия океан, източната част на Южна Америка и Антарктика.

Момент на геоцентричната опозиция на Луната по еклиптична дължина: 5 юни 2020 г. в $22^{\text{h}} 12^{\text{m}} 23^{\text{s}}$.

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 04^{\text{h}} 57^{\text{m}} 22^{\text{s}}$ $\delta = +22^{\circ} 39' 21''$, в съзвездие Бик (Телец)

Луна: $\alpha = 16^{\text{h}} 58^{\text{m}} 26^{\text{s}}$ $\delta = -21^{\circ} 27' 09''$, в съзвездие Змиеносец.

Характерни моменти от явлението

Начало на затъмнението от полусаянката (контакт P1): 5 юни 20^h 45^m 51^s

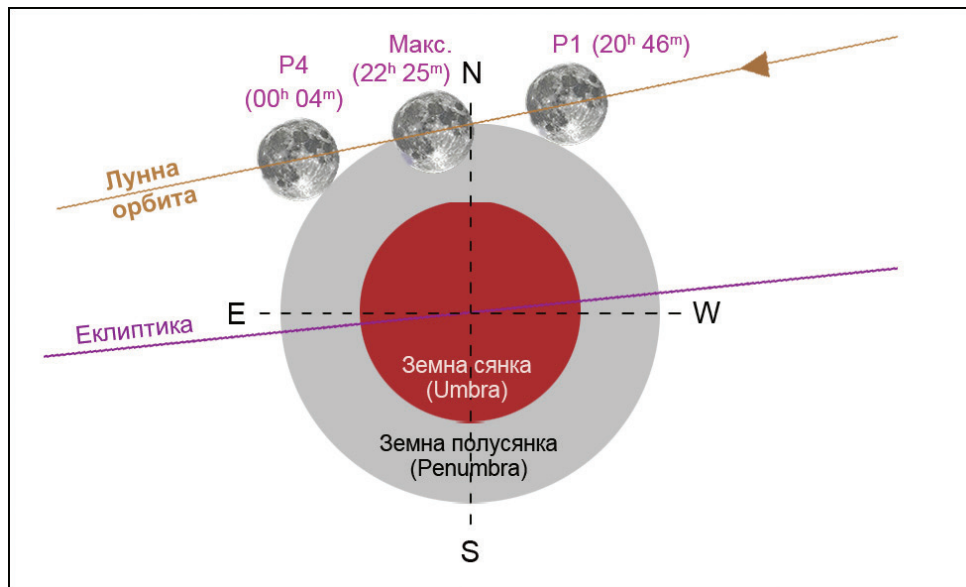
Максимална фаза: 5 юни 22^h 25^m 05^s

Край на затъмнението от полусаянката (контакт P4): 6 юни 00^h 04^m 09^s

Продължителност на затъмнението от полусаянката на Земята: 3 часа, 18 минути и 17 секунди.

Максимална фаза на затъмнението от полусаянката на Земята: 0,568.

Максимална фаза на затъмнението от сянката на Земята: -0,405 (отстояние до земната сянка в лунни диаметри).



Преминаването на Луната през земната полусаянка на 5 юни вечерта. Моментите P1 и P4 са на първия и на последния контакт на Луната със земната полусаянка (penumbra)

При самото начало на затъмнението в 20^h 45^m 50^s Луната ще бъде на височина около 1° 50' в посока изток-югоизток за Варна, но за София тя още няма да бъде изгряла. Изгревът ѝ за столицата ще настъпи малко по-късно – в 20^h 48^m.

Както и при затъмнението на 10 януари, скоро след началото и към края на явлението няма да се забелязва разлика от обичайния вид на пълната Луна. Едва около момента на максималната фаза в 22^h 25^m южната (видимо долната дясна) част на лунния диск леко ще посивее. И при това затъмнение лекото спадане на яркостта в долната дясна част на лунния диск ще се регистрира по-добре, ако наблюдаваме явлението фотографски.

3. Пръстеновидно слънчево затъмнение на 21 юни

Пръстеновидните слънчеви затъмнения са особено красиви явления, случващи се, когато Луната е близо до апогея на своята орбита, т.е. най-далеч от Земята. Логично тогава Луната изглежда по-малка и по време на пълната фаза на слънчево затъмнение тя не може да закрие изцяло Слънцето. Така периферията на слънчевия диск остава да свети около Луната във вид на тънък пръстен.

От България затъмнението ще се наблюдава като частично с малка фаза (подробности – по-долу).

Затъмнението ще се наблюдава като частично от Африка, Югоизточна Европа и Азия.

Ивицата на пръстеновидното затъмнение ще започне от Централна Африка – в Демократична република Конго. Ще пресече Южен Судан, Етиопия и Еритрея. След това ще продължи през южната част на Арабския полуостров – Йемен и Оман, ще пресече Северна Индия, Китай и о-в Тайван. Пръстеновидното затъмнение ще завърши в Тихия океан – в района на Марианските острови, южно от о-в Гуам.

Момент на геоцентричното съединение на Луната по еклиптична дължина: 21 юни 2020 г. в 09^h 41^m 27^s (6,2 денонощия след апогея на Луната).

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 06^{\text{h}} 01^{\text{m}} 33^{\text{s}}$ $\delta = +23^{\circ} 26' 10''$

Луна: $\alpha = 06^{\text{h}} 01^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ $\delta = +23^{\circ} 32' 57''$

Съзвездие Бик (Телец).

Ъгловият радиус на Слънцето по време на явлението ще бъде 15' 44,2", а на Луната 15' 24,0", поради което по време на пълната фаза на затъмнението периферията на слънчевия диск ще остане видима като тънък пръстен около Луната.

Характерни моменти на затъмнението

Начало на частичните фази: 06^h 46^m 00^s

Начало на пръстеновидното затъмнение: 07^h 47^m 44^s

Максимална фаза: 09^h 40^m 05^s

Край на пръстеновидното затъмнение: 11^h 32^m 22^s

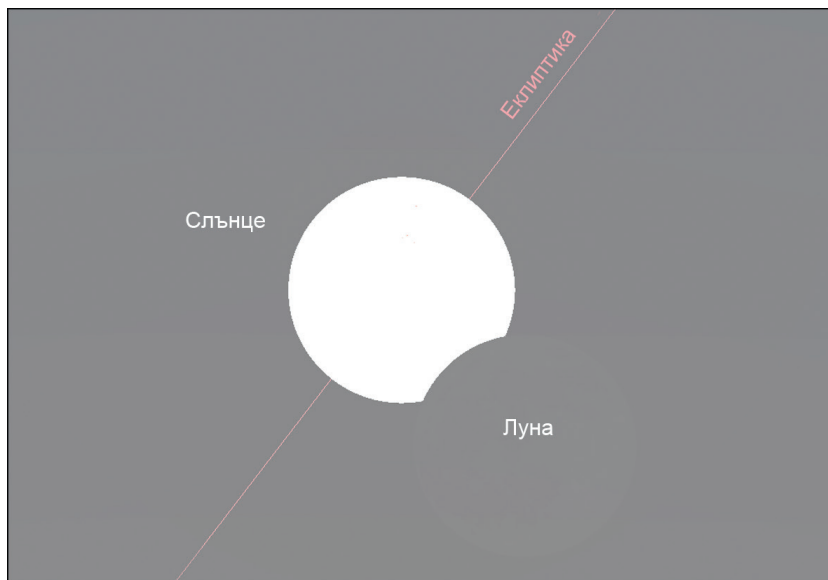
Край на частичните фази: 12^h 34^m 04^s

Максимална фаза на затъмнението: 0,994

По време на максималната фаза ще бъдат закрити 98,8% от площта на слънчевия диск, като останалият 1,2% от нея ще бъде видим като много тънък пръстен около лунния диск.

Пръстеновидно затъмнение с максимална фаза и с продължителност 38,2 секунди ще се наблюдава в 06^h 40^m 05^s UT от място с географски координати 30° 31' 12" N и 79° 22' 30" E – в района на град Джошимат (Joshimath, до село Rudranath) в щата Утаракханд (Uttarakhand) в Северна Индия. Там ивицата, от която ще може да се наблюдава пръстеновидно затъмнение, ще бъде широка 21,2 km.

От България затъмнението ще се наблюдава като частично с малка фаза – едва около 0,12. За София явлението ще започне в 08^h 04^m 31^s. Максимално покритие на слънчевия диск от само 4,7% ще се наблюдава в 08^h 35^m 42^s, когато Слънцето ще бъде на височина 28° над източния хоризонт. Краят на затъмнението за София ще настъпи в 09^h 08^m 16^s.



Частично затъмненото Слънце, както ще изглежда на 21 юни 2020 г. в 08^h 36^m за наблюдател от София. Това ще бъде най-голямата фаза на затъмнението за столицата – около 0,117, с максимално покритие на слънчевия диск около 4,7%.

4. Лунно затъмнение от полусянката на Земята на 5 юли

Явлението няма да бъде видимо от България. То ще се наблюдава от Централна и Западна Европа, Африка – без най-източните ѝ части, Атлантическия океан, по-голямата част от Северна Америка – без най-северните ѝ части, Южна Америка, източната част на Тихия океан и Антарктика.

Момент на геоцентричната опозиция на Луната по еклиптична дължина:
5 юли 2020 г. в 07^h 44^m 24^s

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 06^{\text{h}} 59^{\text{m}} 10^{\text{s}}$ $\delta = +22^{\circ} 44' 23''$, в съзвездията Близнаци

Луна: $\alpha = 18^{\text{h}} 59^{\text{m}} 13^{\text{s}}$ $\delta = -24^{\circ} 03' 16''$, в съзвездията Стрелец.

Характерни моменти от явлението

Начало на затъмнението от полусянката на Земята: 06^h 07^m 23^s

Максимална фаза: 07^h 30^m 02^s

Край на затъмнението от полусянката: 08^h 52^m 27^s

Продължителност на затъмнението от полусянката на Земята: 2 часа, 45 минути и 04 секунди.

Максимална фаза на затъмнението от полусянката на Земята: 0,355

Максимална фаза на затъмнението от сянката на Земята: -0,644 (отстояние до земната сянка).

5. Лунно затъмнение от полусянката на Земята на 30 ноември

Явлението няма да бъде видимо от България. То ще се наблюдава от Тихия океан, Австралия, по-голямата част на Азия – без Арабския полуостров и Западна Индия, Скандинавския полуостров, Британските острови, Атлантическия океан, Северна Америка, Южна Америка и Арктика.

Момент на геоцентричната опозиция на Луната по еклиптична дължина:
30 ноември 2020 в 11^h 29^m 40^s

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 16^{\text{h}} 27^{\text{m}} 40^{\text{s}}$ $\delta = -21^{\circ} 44' 31''$, в съзвездията Змиеносец

Луна: $\alpha = 04^{\text{h}} 28^{\text{m}} 47^{\text{s}}$ $\delta = +20^{\circ} 44' 46''$, в съзвездията Бик (Телец).

Характерни моменти от явлението

Начало на затъмнението от полусянката на Земята: $09^{\text{h}} 32^{\text{m}} 22^{\text{s}}$

Максимална фаза: $11^{\text{h}} 42^{\text{m}} 52^{\text{s}}$

Край на затъмнението от полусянката: $13^{\text{h}} 53^{\text{m}} 26^{\text{s}}$

Продължителност на затъмнението от полусянката на Земята: 4 часа, 21 минути и 04 секунди.

Максимална фаза на затъмнението от полусянката на Земята: 0,828.

Максимална фаза на затъмнението от сянката на Земята: $-0,262$ (отстояние до земната сянка).

6. Пълно слънчево затъмнение на 14 декември

Както се случи при пълното слънчево затъмнение на 2 юли миналата година, това астрономическо явление ще предизвика най-голям обществен интерес. Затъмнението ще се наблюдава като частично от Тихия океан и Южна Америка. Ивицата на лунната сянка (т.е. на пълното затъмнение) ще прекоси южната част на Тихия океан, Чили, Аржентина и ще завърши в южната част на Атлантическия океан.

Много астрономи от цял свят – професионалисти и любители, отново ще посетят Чили и Аржентина, за да проведат своите наблюдения. По време на пълната фаза на затъмнението за провинция Рио Негро, Аржентина, Слънцето ще бъде на височина около 73° над хоризонта.

Момент на геоцентричното съединение на Луната по еклиптична дължина: 14 декември 2020 г. в $18^{\text{h}} 16^{\text{m}} 34^{\text{s}}$

Геоцентрични координати на Слънцето и Луната по време на максималната фаза:

Слънце: $\alpha = 17^{\text{h}} 30^{\text{m}} 06^{\text{s}}$ $\delta = -23^{\circ} 15' 32''$

Луна: $\alpha = 17^{\text{h}} 29^{\text{m}} 54^{\text{s}}$ $\delta = -23^{\circ} 32' 59''$

Съзвездие: Змиеносец.

Ъглов радиус на Слънцето: $16' 14.9''$

Ъглов радиус на Луната: $16' 23,7''$

Характерни моменти от затъмнението

Начало на частичните фази: $15^{\text{h}} 33^{\text{m}} 54^{\text{s}}$

Начало на пълната фаза: $16^{\text{h}} 32^{\text{m}} 34^{\text{s}}$

Максимална фаза: $18^{\text{h}} 13^{\text{m}} 30^{\text{s}}$

Край на пълната фаза: $19^{\text{h}} 54^{\text{m}} 20^{\text{s}}$

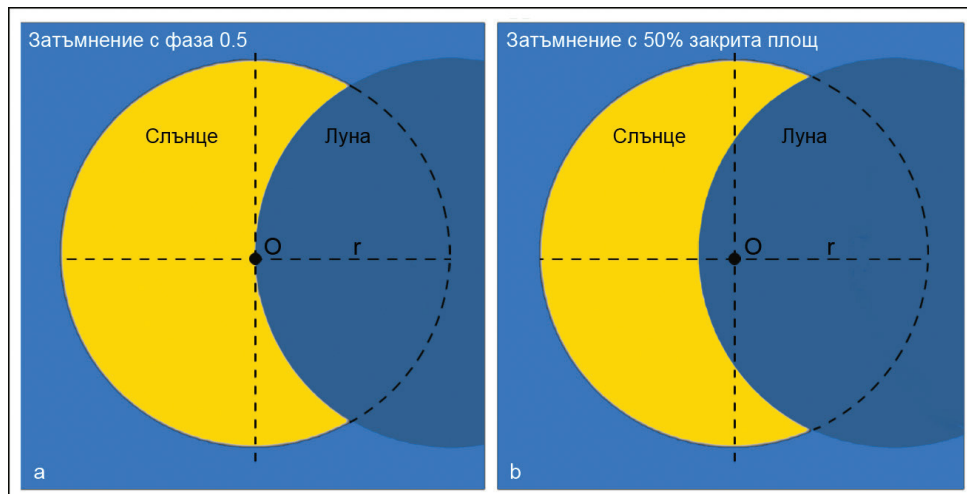
Край на частичните фази: $20^{\text{h}} 53^{\text{m}} 07^{\text{s}}$

Максимална фаза на затъмнението: 1,025

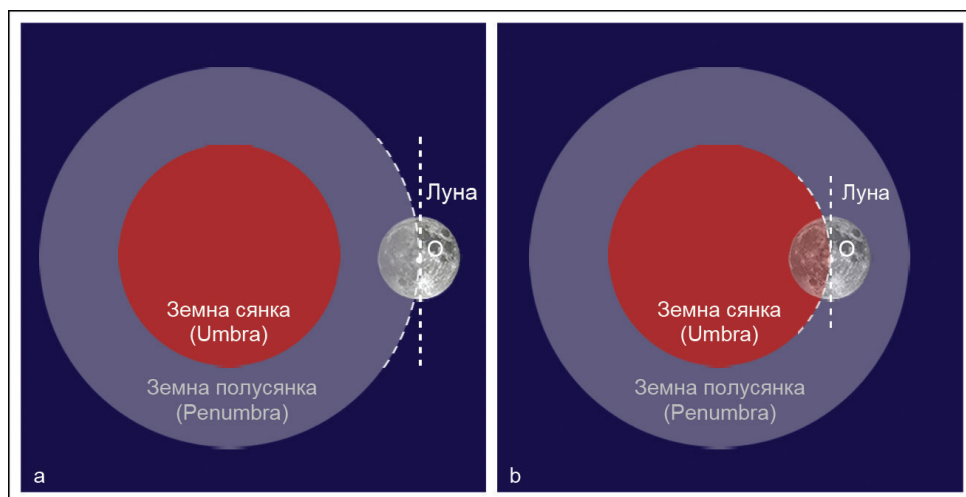
Пълна фаза с максимална продължителност 2 минути и 10 секунди ще се наблюдава в $16^{\text{h}} 13^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ UT от място с географски координати $40^{\circ} 20' 42'' \text{ S}$ и $67^{\circ} 54' 54'' \text{ W}$ – в района на с. Сиера Колорада (Sierra Colorada) в провинция Рио Негро, Аржентина. Там ивицата, по която се движи лунната сянка (т.нар. **ивица на тоталитета**), ще бъде широка 90,2 km.

Затъмнението няма да бъде видимо от България.

За понятията фаза или степен (magnitude) на затъмнение и закрита площ (obscuration)



Разлика между фазата (или степента, **magnitude**) и закритата площ (**obscuration** в %) при слънчеви затъмнения. Фазата на затъмнението показва каква част от **диаметъра** на диска на затъмняваното тяло (Слънцето) е покрит от затъмняващото тяло (Луната). Тук за сравнение е даден пример със слънчево затъмнение с фаза 0,5 (**a**) и с 50% закрита площ на слънчевия диск (**b**)
О – център на слънчевия диск; г – радиус на слънчевия диск



При лунните затъмнения фазата показва каква част от диаметъра на лунния диск е покрита от полусянката или сянката на Земята: **a** – затъмнение от полусянката с фаза 0,5; **b** – затъмнение от сянката с фаза 0,5. О – център на лунния диск

Тъй като Земята хвърля полусянка и сянка, при лунните затъмнения се посочват два магнитуда за момента на максимума на затъмнението (т.е. две максимални фази): penumbral magnitude – максимална фаза от полусянката, и umbral magnitude – максимална фаза от сянката. Ако лунният диск е в полусянката, но не е навлязъл в земната сянка, за umbral magnitude се дава отрицателна стойност, показваща колко лунни диаметри остават между края на лунния диск и границата на земната сянка. Ако целият лунен диск се намира в полусянката или в сянката на Земята, съответната максимална фаза има стойност, по-голяма от 1

ВИДИМОСТ НА ПЛАНЕТИТЕ ОТ СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

В началото на 2020 г. ще бъдат видими само две от ярките планети: Венера – вечер над югозападния хоризонт, и Марс – рано сутрин, ниско на югоизток. Около средата на зимата, отначало трудно, ще започнат да се наблюдават Юпитер и Сатурн, които ще изгряват в края на нощите над югоизточния хоризонт. През март ще виждаме Венера високо на югозапад след залез слънце, а през летните месеци Юпитер и Сатурн ще се наблюдават удобно над южния хоризонт, видимо вляво от най-ярката част от Млечния път в съзвездие Стрелец. През октомври около полунощ ще виждаме Марс с много висока яркост над южния хоризонт. Следват подробности за условията на видимост за всяка една от планетите.

Някои термини, използвани при описанието на различни планетни конфигурации, са обяснени в секцията „**Планетни конфигурации**“ по-долу.

Меркурий

Най-близката до Слънцето планета има най-кратък орбитален период (87,97 дни) и затова често преминава от вечерна в утринна видимост и обратно. Меркурий се наблюдава трудно и за кратко – след залез слънце на запад или при зазоряване сутрин на изток. Възможно най-удобните моменти за наблюдението му са на датите около т.нар. **максимални елонгации** – когато планетата отстои на най-голям ъгъл източно или западно от Слънцето (табл. 5). Допълнително условие, благоприятстващо или възпрепятстващо наблюдението, е наклонът на еклиптиката спрямо хоризонта във вечерите, респ. в утрата на тези дати. От този наклон също зависи колко време ще закъснее залезът на Меркурий след залеза на Слънцето – ако е видим вечер, респ. колко време преди изгрева на Слънцето ще изгрее планетата – ако се наблюдава сутрин.

Същите принципи важат и при наблюдението на Венера, макар че тя е далеч по-достъпна.

През 2020 г. ще има три най-удобни момента за наблюдение на Меркурий – на 10 февруари вечерта, на 4 юни вечерта и на 10 ноември рано сутрин.

Меркурий ще бъде в горно (външно) съединение на 10 януари, 5 май, 17 август и 20 декември. Планетата ще бъде в долно (вътрешно) съединение на 26 февруари, 1 юли и 25 октомври.

Синодичният период на Меркурий е 115,88 дни.

Таблица 5. Максимални елонгации на Меркурий през годината

Момент на максимална елонгация			Ъгъл и посока спрямо Слънцето	Яркост на планетата (видима зв. величина)	Удобно време за наблюдение	Интервал време между изгрева (залеза) на Меркурий и изгрева (залеза) на Слънцето
Месец	d	h m	° E или W	mag		Часа минути
Февруари	10	15 56	18.2 E	– 0.6	След залез слънце	01 34
Март	24	04 06	27.8 W	0.2	Преди изгрев слънце	00 54
Юни	4	16 07	23.6 E	0.4	След залез слънце	01 51
Юли	22	18 12	20.1 W	0.2	Преди изгрев слънце	01 27
Октомври	1	19 06	25.8 E	0.0	След залез слънце	00 44
Ноември	10	19 03	19.1 W	– 0.6	Преди изгрев слънце	01 42

Венера

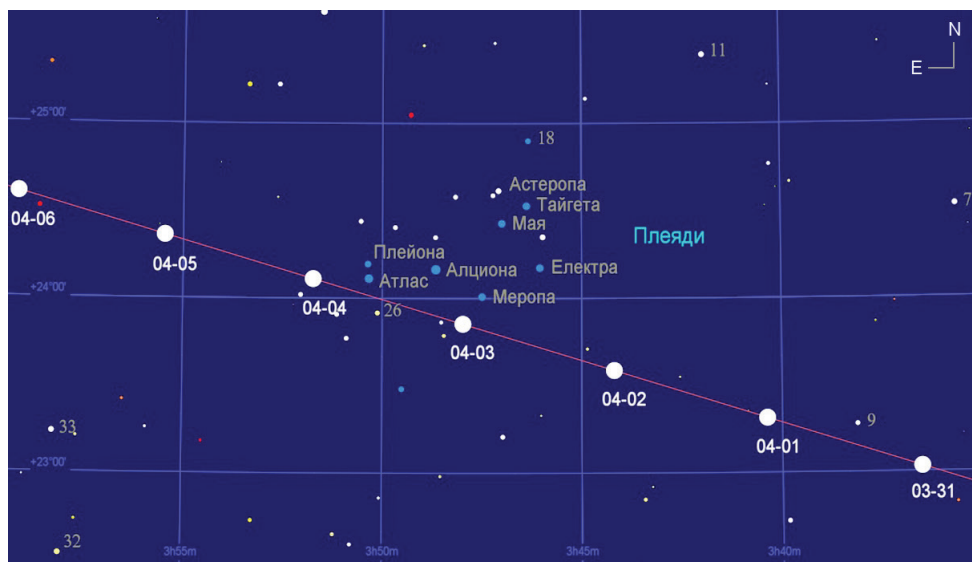
От началото на годината до около 20 май най-ярката планета ще се наблюдава като Вечерница над югозападния хоризонт след залез слънце. Във втората половина на март ще виждаме Венера най-дълго вечер – до около 4 часа след края на деня, тъй като на 25 март в 00^h 13^m планетата ще бъде в максимална елонгация – на 46° източно от Слънцето. В това време Венера ще бъде с яркост около –4.4 mag. На 3 юни в 20^h 44^m планетата ще бъде в долно (вътрешно) съединение и няма да може да се наблюдава.

Следващият период на видимост на Венера ще започне от около средата на юни и ще трае до средата на януари 2021 г. През този период ярката планета ще изгрява рано сутрин над източния хоризонт – като Зорница. Най-дълго време преди изгрева на Слънцето ще виждаме Венера през август.

Орбиталният период на Венера е 224,70 дни (0,6152 земни години), а синодичният – 583,92 дни.

Таблица 6. Максимални елонгации на Венера през годината

Момент на максимална елонгация			Ъгъл и посока спрямо Слънцето	Яркост на планетата (видима зв. величина)	Удобно време за наблюдение	Интервал време между изгрева (залеза) на Венера и изгрева (залеза) на Слънцето
Месец	d	h m	° E или W	mag		часа минути
Март	25	00 13	46.1 E	– 4.4	След залез слънце	04 07
Август	13	03 14	45.8 W	– 4.3	Преди изгрев слънце	03 33



Преминаването на Венера пред разсеяния звезден куп Плейди (M45) на 3 и 4 април 2020 г. Позициите на планетата са означени за всяка дата в 21^h 30^m, във формат месец-дата (mm-dd)

Марс

Това е втората планета, която ще може да се наблюдава от началото на 2020 г. – рано сутрин над югоизточния хоризонт, в съзвездието Скорпион. С напредването на годината условията за наблюдение на Червената планета бавно ще се подобряват и на 14 октомври в 02^h 26^m Марс ще бъде в противостояние (в опозиция), с яркост $-2,6$ mag. Тогава планетата ще бъде в съзвездието Риби. Моментът на максималното приближаване на Марс до Земята обаче ще предхожда с близо седмица самото противостояние. Най-близо до нас Червената планета ще бъде на 6 октомври около 17^h 10^m, на разстояние 62 069 560 km. Това приближаване до Земята е сравнително близко до максималното възможно (по-точно – на 97% от максималното), поради което много медии ще обявят явлението за *велико противостояние*. Все пак на 6 октомври дистанцията Земя–Марс ще остане малко по-голяма от тази, по време на предишното противостояние на Марс – на 27 юли 2018 г. В момента на противостоянието си през октомври Марс ще бъде с ъглов диаметър 22,6", при теоретично максимално възможен 26". В такива моменти телескопичните наблюдения на планетата показват най-много детайли от нейната повърхност. Също така около моментите на такива близки противостояния е най-удобно към Марс да бъдат изпращани космически мисии, каквито се очаква да стартират през юли 2020 г. (вижте „По-важни предстоящи космически мисии“ в тази книга).

Орбиталният период на Марс е 686,96 дни (1,88 земни години), а синодичният – 779,96 дни.

Юпитер и Сатурн

Двата газови гиганта ще започнат да се наблюдават немного време след началото на годината. Към края на януари Юпитер ще изгрява над югоизточния хоризонт рано сутрин преди развиделяване. Ще бъде в съзвездие Стрелец. В същото съзвездие се намира и Сатурн, който ще започне да се наблюдава малко по-късно – от около средата на февруари. В следващите месеци условията за наблюдение на двете планети ще се подобряват, като едновременно с това Юпитер ще се приближава видимо към Сатурн. Противостоянието на Юпитер ще бъде на 14 юли в $10^h 58^m$, а на Сатурн – седмица по-късно, на 21 юли в $01^h 28^m$. По време на противостоянията си Юпитер ще бъде с яркост $-2,8$ mag и с ъглов диаметър $47,6''$, а Сатурн – с яркост $0,1$ mag и с ъглов диаметър $18,5''$ (без пръстена си).

Орбиталният период на Юпитер е 4335,35 дни (11,87 земни години), а синодичният – 398,86 дни.

Орбиталният период на Сатурн е 10 759,22 дни (29,46 земни години), а синодичният – 378,09 дни.

Уран

Седмата планета ще се движи бавно в югозападната част на съзвездие Овен, с яркост, колебаеща се слабо около $5,8$ mag. Уран може да бъде открит видимо недалеч от звездата 19 Ari. На 31 октомври в $17^h 53^m$ планетата ще бъде в противостояние (в опозиция). Принципно тогава тя може да се наблюдава с яркост $5,7$ mag и с ъглов диаметър $3,6''$, но вечерта на тази дата пълната Луна ще бъде в същата част на небето и наблюденията на слаби обекти ще бъдат силно затруднени.

Макар че теоретично би следвало Уран да може да бъде забелязан с невъоръжено око, на практика това е невъзможно. Може обаче да се опита да бъде наблюдаван с бинокъл, след като предварително се запамети разположението на планетата сред слабите звезди в югозападната част на Овен.

Уран е наблюдаван за пръв път от английския астроном сър Уилям Хершел, който обявява това свое откритие на 13 март 1781 г.

Орбиталният период на Уран е 30 688,5 дни (84,02 земни години), а синодичният му период е 369,66 дни.

Нептун

Последният газов гигант в Слънчевата система ще се движи бавно в североизточната част на съзвездие Водолей, с яркост около $7,9$ mag и с ъглов диаметър $2,4''$. На 11 септември в $23^h 26^m$ Нептун ще бъде в противостояние, с яркост $7,8$ mag и с ъглов диаметър $2,5''$. Тогава той ще бъде на $43' 33''$ югоизточно от звездата 96 Aqr. Тази планета може да се наблюдава ефективно само с телескоп, макар че теоретично би следвало да може да бъде забелязана и с бинокъл.

Нептун е наблюдаван за пръв път от немския астроном Йохан Годфрид Гал на 23 септември 1846 г., на позиция само с 1° разлика от предварително изчислената от френския математик и астроном Юрбен Льоверие. Года преди това друг френски астроном – Алексис Бувар, допуска съществуването на планета отвъд Уран, поради наблюдаваните промени в орбитата на самия Уран, предизвикани от гравитационното смущение на неизвестната дотогава осма планета.

Орбиталният период на Нептун е 60 182 дни (164,8 земни години), а синодичният му период е 367,49 дни.

Планетни конфигурации

Планетите се наблюдават винаги близо до еклиптиката или на самата нея. Причината за това са неголемите наклони на техните орбити спрямо равнината на земната орбита, наричана **еклиптическа равнина**.

Когато една вътрешна (долна) планета е в максимална източна или в максимална западна елонгация (Greatest eastern/western elongation), тя се наблюдава най-дълго време вечер след залеза на Слънцето, респ. сутрин преди изгрева. Гледан през телескоп в тези моменти, дискът на планетата изглежда осветен наполовина. По време на максималните си елонгации Меркурий се наблюдава на ъглови отстояния между 18° и 28° от Слънцето, а Венера – на отстояния между 45° и 47° .

Когато една вътрешна планета е в долно (вътрешно) или в горно (външно) съединение със Слънцето (Interior/Superior conjunction), тя се намира в най-близката до нас, респ. в най-отдалечената от нас точка от своята орбита. Около тези моменти планетата не може да се наблюдава, тъй като се губи в сиянието около Слънцето.

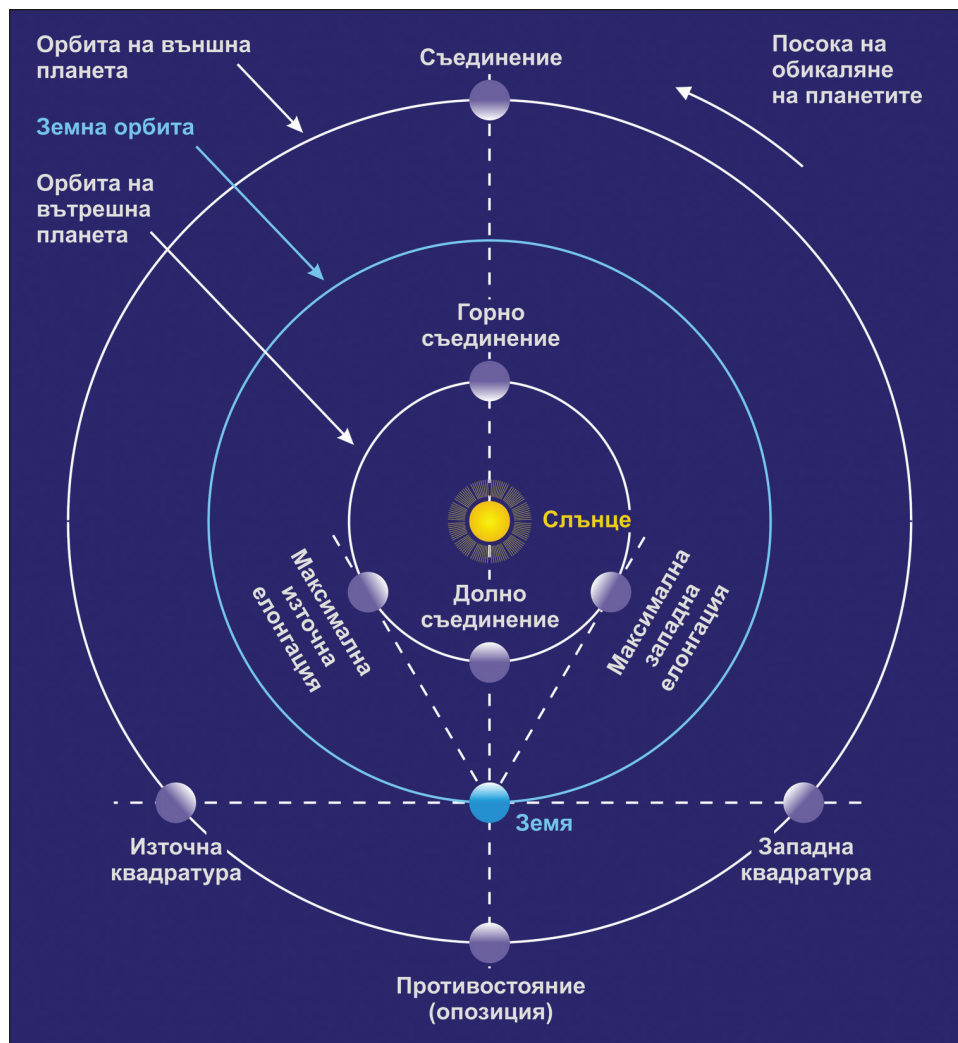
Когато една външна (горна) планета е в източна квадратура (Eastern quadrature), тя се наблюдава в първата половина на нощта, в посока на 90° източно от вече залязлото Слънце. Ако една външна планета е в западна квадратура (Western quadrature), тя е видима във втората половина на нощта, на 90° западно от още неизгрялото Слънце.

Когато една външна планета е в противостояние на Слънцето (Opposition), тя се наблюдава възможно най-добре – в полунощ над южния хоризонт. Около този момент планетата е най-близо до Земята, поради което се вижда с най-голям ъглов диаметър и с най-висока яркост.

Когато една външна планета е в съединение със Слънцето (Conjunction), тя се намира в най-отдалечената от нас точка на своята орбита и не може да се наблюдава, понеже се губи в сиянието около централното ни светило.

Съединение между два астрономически обекта имаме, когато техните ректасцензии или еклиптични дължини се изравнят. Тогава двата обекта са видимо близо и ако са ярки планети, ярка планета и Луната или планета и ярка

звезда, те привличат погледа към областта от небето, в която се намират. Затова тези явления са забележителни небесни атракции.



Планетни конфигурации

ПО-ЗАБЕЛЕЖИТЕЛНИ ВЗАИМНИ СЪЕДИНЕНИЯ МЕЖДУ ЯРКИТЕ ПЛАНЕТИ

Март – съединения на Марс с Юпитер и Сатурн

В утрата около началото на астрономическата пролет, близо час и половина преди изгрева на Слънцето (около 05^h 00^m за София), ниско над югоизточния хоризонт ще може да се наблюдава малък парад на планетите Марс, Юпитер и Сатурн. И трите планети ще бъдат в североизточната част на съзвездие Стрелец. На 18, 19 и 20 март сутринта видимо близо до тях ще бъде и изтъняващият сърп на Луната, приближаваща новолуние. Така четирите ярки обекта ще привличат погледа към небето на югоизток.

На 20 март в 08^h 20^m Марс ще бъде в съединение по ректасцензия с Юпитер, на 42' 54" южно от него. От България явлението ще може да се наблюдава малко преди максималното видимо сближаване на двете планети – от около 04^h до зазоряване (около 05^h 15^m). На следващата сутрин двете планети все още ще бъдат видимо близо една до друга.

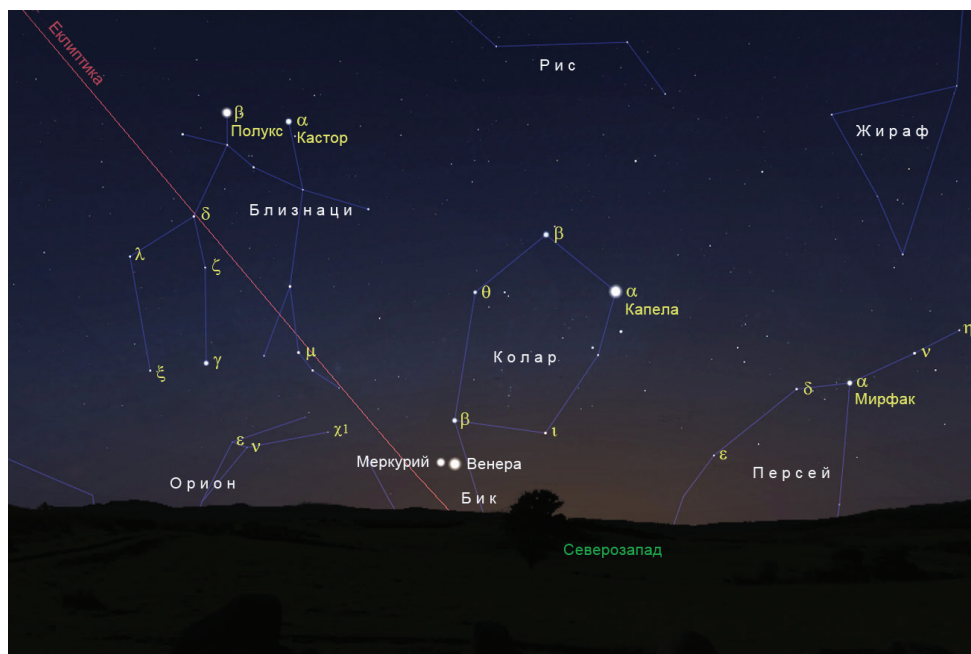
Скоро след съединението си с Юпитер, Марс ще премине видимо близо и до Сатурн. На 31 март в 14^h 00^m Червената планета ще бъде в съединение по ректасцензия със Сатурн – на 55' 22" южно от него. От нашата страна явлението ще се наблюдава в края на нощта на същата и на следващата дата, подобно както съединението Марс–Юпитер.



Марс, Юпитер, Сатурн и Луната на 19 март рано сутринта над югоизточния хоризонт. Марс ще се движи бързо на изток и ще премине видимо близо до двете гигантски планети. Съединението му с Юпитер ще бъде на 20 март, с със Сатурн – на 31 март

22 май – съединение на Меркурий с Венера

В 10^h 55^m на тази дата двете планети ще бъдат в съединение по ректасцензия, като Меркурий ще бъде на 53' 30" южно от Венера. От нашата страна явлението ще се наблюдава трудно на 22 май вечерта. Около 1 час и 15 минути след залез слънце двете планети ще бъдат на височина само 3° над северозападния хоризонт. Ще са трудно откриваеми в заревото след залеза, поради което ще е силно препоръчително използването на бинокъл. Ще бъде нужно наблюдателно място с много нисък хоризонт в посока запад-северозапад. До вечерта на 22 май ъгловото отстояние между двете планети ще е нараснало до малко над 1°. Наблюдавана през телескоп, Венера ще изглежда като много тънък сърп – ще бъде само с 5% осветен диск, тъй като планетата се приближава към долното си съединение (то ще бъде на 3 юни).



Меркурий и Венера на ъглово отстояние 01° 11' 38" вечерта на 22 май, много ниско над северозападния хоризонт около 1 час и 15 минути след залез слънце

21 декември – съединение на Юпитер и Сатурн

Много астролюбители с нетърпение очакват взаимното съединение на двата газови гиганта в края на годината, което се случва веднъж на около 20 години – т.нар. голямо съединение (Great conjunction). Ректасцензиите на двете планети ще се изравнят в 16^h, когато Юпитер ще бъде само на 06' 14" южно от Сатурн. Явлението ще се случи в съзвездие Козирог, близо до границата му със Стрелец. Вечерта на 21 декември двете планети ще могат да се наблюдават заедно в

окуляра на телескоп с голямо увеличение (400 пъти или повече, ако инструментът позволява). По време на съединението Юпитер ще бъде с яркост -2 mag и с ъглов диаметър $33,2''$, а Сатурн – с яркост $0,6$ mag и с ъглов диаметър $15,4''$. Наблюдението на явлението обаче ще бъде затруднено – то ще бъде видимо ниско над югозападния хоризонт, в гаснещото сияние след залез слънце. На 21 декември за София Слънцето ще залезе в $16^h 56^m$, а двете планети – в $19^h 17^m$. Около 1 час и 15 минути след залеза на Слънцето, когато небето ще е вече достатъчно тъмно (около $18^h 10^m$), за наблюдател от София Юпитер и Сатурн ще бъдат на височина 10° над хоризонта. Предвид това наблюдателите трябва да изберат място с нисък хоризонт в посока югозапад. Използването на бинокъл ще помогне двете планети да бъдат открити по-рано в полумрака. Същата вечер Луната ще бъде във фаза първа четвърт, в източната част на съзвездиято Водолей.

За наблюдател от Варна, от посочените по-горе моменти трябва да се извадят 19 минути.



Звездното небе над югозападния хоризонт на 21 декември около 1 час и 15 минути след залез слънце, когато най-добре ще може да се наблюдава съединението на Юпитер със Сатурн. В 16^h на тази дата двете планети ще бъдат на ъглово отстояние само $06' 14''$ една от друга



Юпитер и Сатурн с по-ярките си спътници, така както ще изглеждат на 21 декември в 18^h 10^m през телескоп с голямо увеличение и поле 9'. Тогава двете планети ще бъдат на ъглово отстояние 06' 09" една от друга. Компютърната симулация е за алт-азимутално монтиран телескоп, без обръщане на образа (север е горе вдясно)

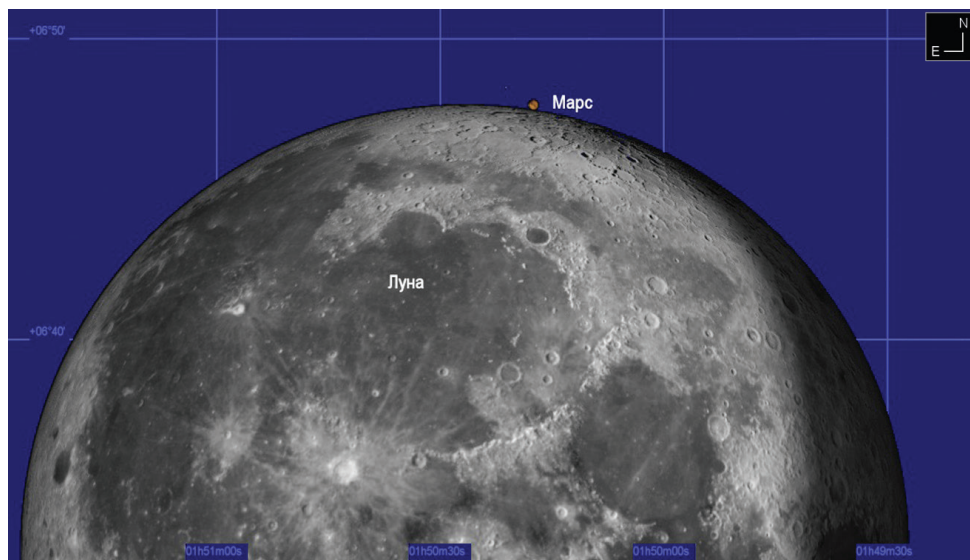
ОКУЛТАЦИИ НА ЯРКИ ПЛАНЕТИ ОТ ЛУНАТА ЗА БЪЛГАРИЯ

За наблюдател от югозападните райони на страната, например от Смолян, на 6 септември около 09^h 18^m 15^s Луната ще започне да окултира (да закрива) Марс. Дневната светлина ще възпрепятства наблюденията – на тази дата за Смолян Слънцето ще изгрее в 06^h 53^m. Въпреки това може да се опита явлението да бъде видяно през телескоп с голямо увеличение и с поставен червен светофилтър на окуляра, спиращ синята светлина от небето. Шансовете за успешно наблюдение не са големи.

Тъй като Луната ще закрие Марс със северния край на диска си, самото закриване ще продължи около 2 минути и 45 секунди – до 09^h 21^m 00^s (втори контакт). Откриването на Марс за Смолян ще започне от около 09^h 33^m 30^s и ще завърши в 09^h 35^m 30^s.

По време на окултацията Марс ще бъде с яркост $-1,9$ mag и с ъглов диаметър 19,7". Луната ще бъде с 85% осветен диск – 4 дни след пълнолуние.

За наблюдател от Пловдив Марс само ще се „плъзне“ по северния контур на лунния диск.



Началото на окултацията на Марс от Луната за наблюдател от Смолян, но за съжаление – явлението ще бъде през деня

За наблюдатели от цялата територия на страната, на 14 декември Луната ще окултира Меркурий, което явление също няма да може да се наблюдава в дневната светлина. Около момента на закриването на планетата – в 12^h 02^m 39^s

за Астрономическата обсерватория на СУ „Св. Климент Охридски“, Слънцето ще бъде само на $03^{\circ} 19'$ от Меркурий.

На 18 февруари жителите от западните части на Северна Америка, които се намират на географска ширина като тази на България и по на север, ще могат да наблюдават окултация на Марс от Луната. Началото ще бъде около $03^{\text{h}} 25^{\text{m}}$ местно време. За тях явлението ще бъде видимо ниско над югоизточния хоризонт.

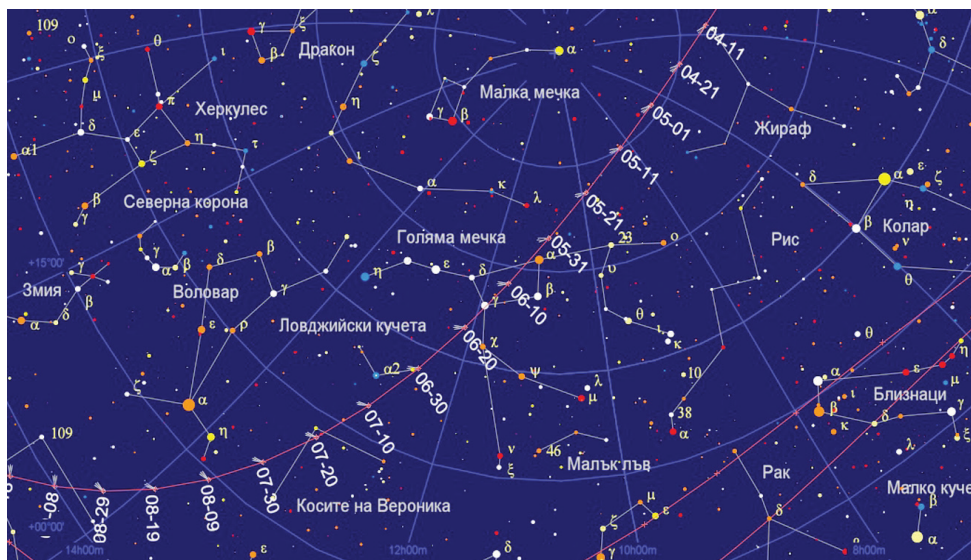
От нашата страна двете небесни тела ще бъдат видими преди окултацията – до около 06^{h} сутринта на 18 февруари, когато Марс ще бъде на близо 4° източно от Луната.

ЯРКИ КОМЕТИ

C/2017 T2 (PanSTARRS)

Това е първата сравнително по-ярка комета за 2020 г., която ще бъде достъпна за наблюдение с бинокъл. Очаква се през пролетта нейната яркост да достигне около 8,5 mag. Кометата ще премине през своя перихелий (през най-близката до Слънцето точка от своята орбита) в първите часове на 5 май 2020 г., на разстояние 241 615 200 km от централното ни светило.

Кометата е открита от телескопите Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (PanSTARRS) през 2017 г.

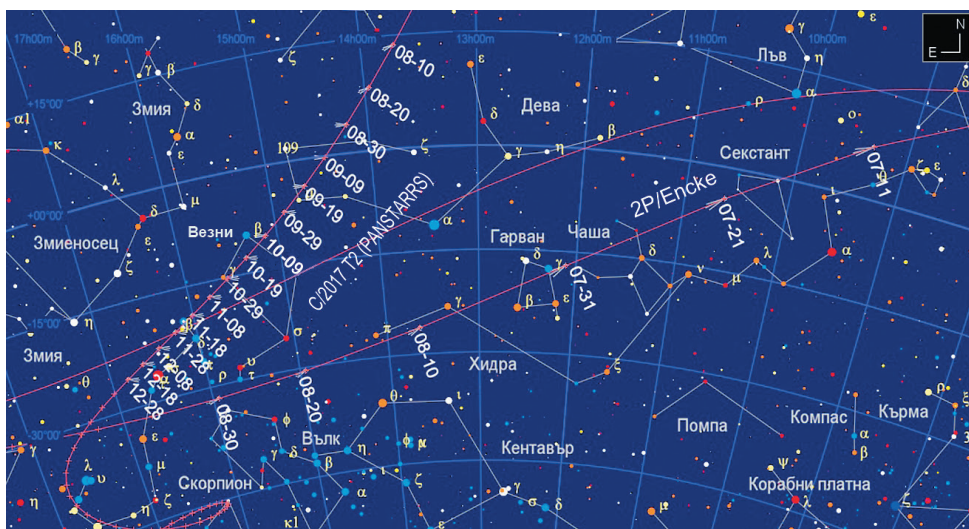


Видимият път на кометата C/2017 T2 (PanSTARRS) през пролетта и лятото на 2020 г. Позициите на кометата са означени през 10 дни за 22^h 00^m EEST, във формат месец-дата (mm-dd)

2P/Encke

Тя ще бъде най-ярката очаквана комета за 2020 г., която през юли ще достигне около 6–7 mag. За съжаление обаче, тогава тя ще залязва скоро след Слънцето и практически няма да може да се наблюдава. 2P/Encke ще премине през перихелия си на 25 юни, на 50 372 700 km от Слънцето.

За пръв път тази комета е наблюдавана от Пиер Мешен (Pierre Méchain) през 1786 г., но много по-късно – след повече от 3 десетилетия, Йохан Енке (Johann Franz Encke) стига до извода, че това е периодична комета, наблюдавана също през годините 1795-а, 1805-а и 1918-а. Периодът на 2P/Енке е около 3,3 години.



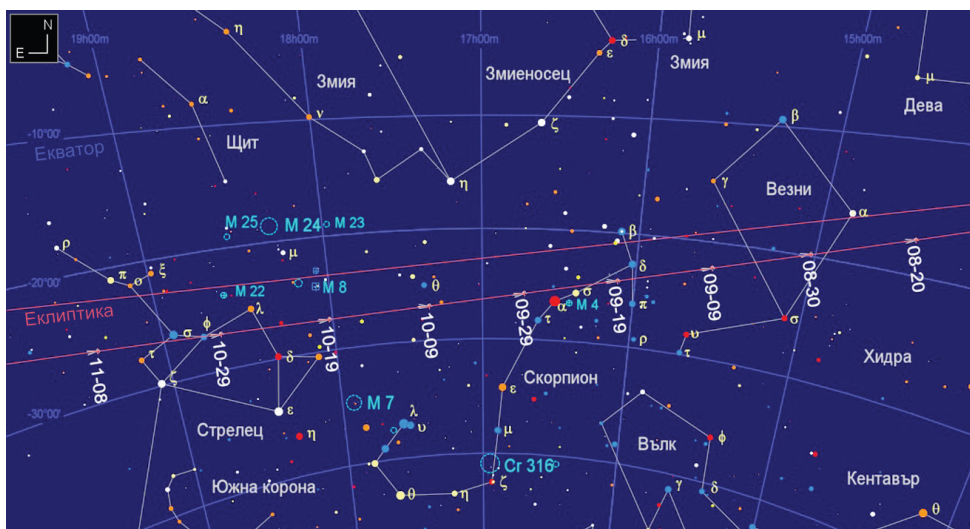
Видимият път на кометата 2P/Encke през юли и август, и на кометата C/2017 T2 (PanSTARRS) до края на 2020 г. Позициите на кометите са означени през 10 дни за 22^h 30^m EEST (след свечеряване през юли), във формат месец-дата (mm-dd). През юли и август, когато се очаква 2P/Encke да бъде най-ярка, практически тя няма да може да се наблюдава от нашите географски ширини. В началото на нощите кометата ще бъде скоро залязла под югозападния хоризонт

88P/Howell

В края на лятото и през есента тази комета също ще бъде достъпна за наблюдение с бинокъл или с малък телескоп. Очаква се тя да достигне най-висока яркост през септември и октомври – около 9 mag. Тогава тя ще се наблюдава ниско над югозападния хоризонт веднага след свечеряване, в съзвездията Скорпион и Стрелец.

88P/Howell ще премине през перихелия си на 26 септември 2020 г., на разстояние около 202 419 000 km от Слънцето. Нейният период е 5,5 години.

Тази комета носи името на Елън Хауел (Ellen Howell) от Калифорнийския технологичен институт, която я открива по време на преглеждане на фотографски плаки, заснети на 29 август 1981 г. с 46 см Шмит телескоп на обсерваторията Маунт Паломар.



Видимият път на кометата 88P/Howell от края на август до към средата на ноември 2020 г., когато се очаква да бъде с най-висока яркост. Позициите на кометата са означени през 10 дни за 21^h 00^m EEST (веднага след свечеряване през септември), във формат месец-дата (mm-dd)

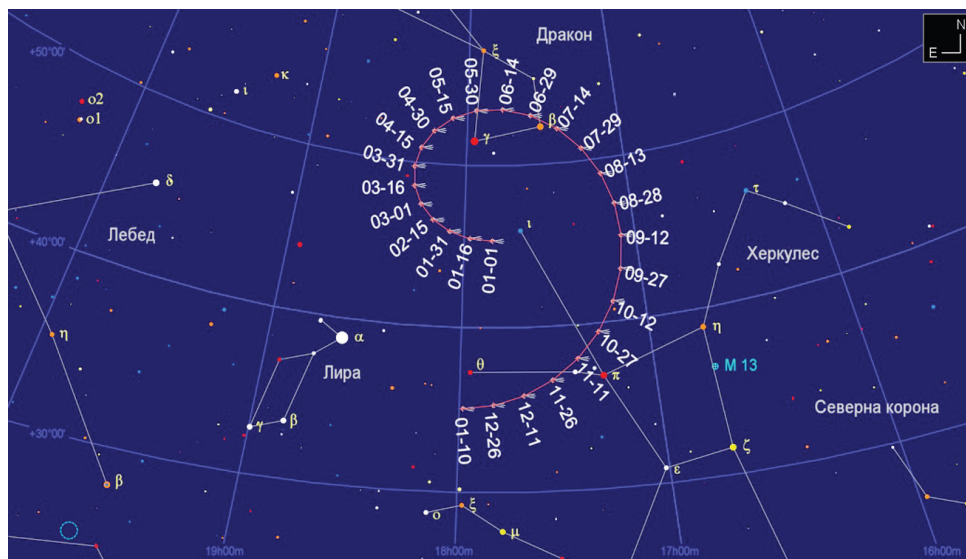
С поглед напред

Много астрономи с интерес следят кометата C/2017 K2 (PanSTARRS), макар че нейният перихелий ще бъде след близо 3 години – на 19 декември 2022 г. Тогава кометата ще премине на разстояние 1,7969715 астрономически единици (268 823 110 km) от Слънцето. Около датата на своя перихелий C/2017 K2 ще се движи на фона на съзвездия Жертвеник и Паун – ниско в южната небесна полусфера. Тези съзвездия не могат да се наблюдават от България, но и от южните ширини наблюденията на кометата ще бъдат затруднени, тъй като по същото време Слънцето ще бъде видимо недалеч – в съзвездието Стрелец.

През 2020 г. кометата C/2017 K2 ще се движи бавно в съзвездия Дракон и Херкулес. Яркостта ѝ ще нараства също бавно – от около 17,1 mag в началото на януари, до около 15,7 mag в края на декември.

Тази комета привлича вниманието с факта, че когато е била открита на 21 май 2017 г., нейната кома е била достатъчно голяма, за да бъде забелязана от разстояние 2,4 млрд. km от Слънцето. Това е отвъд орбитата на Сатурн. Да припомним, че по подобен начин бе открита и кометата C/1995 O1 (Hale-Bopp) на 23 юли 1995 г. – много време преди нейния перихелий през април 1997 г. Откриването на комета толкова рано преди перихелия предполага големи размери на нейното ядро и съответно – ранно формиране на временната атмосфера около него, наречена кома. Въпреки това прогнозите за яркостта на C/2017 K2 (PanSTARRS) в края на 2022 г. са доста скромни – около 6 mag.

В света на кометите обаче винаги са възможни изненади, поради което интересът към тази комета ще остане голям.



Видимият път на C/2017 K2 (PanSTARRS) през 2020 г. Позициите на кометата са означени през 15 дни за 00^h 00^m EET, във формат месец-дата (mm-dd)

ПО-ИНТЕНЗИВНИ МЕТЕОРНИ ПОТОЦИ

В края на тази част ще намерите разяснения за някои термини, описващи метеорните потоци, както и важни препоръки към желаещите да провеждат метеорни наблюдения.

Квадрантиди (QUA)

Това е първият метеорен поток, с максимум в самото начало на годината. Активен е от 28 декември до 10 януари, с максимум за 2020 г. на 4 януари около 10^h 20^m българско време. Макар че в края на нощта на 3 срещу 4 януари Луната ще бъде под хоризонта, поради факта, че Квадрантиди има кратък максимум, няма особен смисъл от провеждане на наблюдения, тъй като за нас максимумът е през деня.

Принципно по време на максимума зенитното часово число на потока може да бъде около 120 метеора за час ($ZHR \approx 120$). Квадрантиди се поражда от космически частици (метеорни роеве), отделени в процеса на разпадане на кометата 96P/Machholz 1 (Машолц 1), с период около 5,2 г.

Ета-Аквариди (ЕТА)

Потокът е активен от 19 април до 28 май, с максимум за 2020 г. в нощта на 5 срещу 6 май около 00^h българско време. Луната обаче ще е пълна и ще възпрепятства наблюденията.

Потокът се поражда от космически частици, отделящи се при разпадането на Халеевата комета (1P/Halley), имаща период около 76 години. По време на максимума могат да се наброят между 40 и 80 бързи бели метеора за час, като този брой варира в различни години. Предвид че съзвездие Водолей, в което се намира радиантът на потока, изгрява в края на нощта, наблюденията се провеждат също тогава. Тази година обаче към края на нощта на максимума ще имаме пълна Луна над югозападния хоризонт.

Юнски Боотиди (ЈВО)

Този поток е интересен с бавните си жълто-оранжеви метеори, често – болиди. Активен е от 22 юни до 2 юли, с максимум за 2020 г. на 28 юни около 01^h българско време. На тази дата Луната ще бъде във фаза първа четвърт и ще залезе за София в 01^h 29^m, след което условията за наблюдение ще бъдат добри до края на нощта.

Активността по време на максимума варира в широки граници през различни години, но дори да се окаже ниска, ярките бавни метеори се фотографират много по-успешно. Поради това потокът привлича вниманието на много астролюбители. Юнски Боотиди се поражда от метеорни роеве, формирали се при разпадането на кометата 7P/Pons-Winnecke, имаща период около 6 години.

Южни Делта-Аквариди (SDA) и Алфа-Каприкорниди (CAP)

Това са два потока с близки радианти, намиращи се съответно в съзвездията Водолей и Козирог. Максимумите на двата потока съвпадат и са на 30 юли. Метеорите им са жълтеникави, нерядко – болиди. Наблюдават се във втората половина на нощите около края на юли и в началото на август. По време на максимумите на двата потока могат да се видят общо около 30 метеора за час.

В нощта на 30 срещу 31 юли 2020 г. Луната ще бъде с 85% осветен диск и ще залезе за София в 02^h 49^m, след което условията за наблюдение ще са добри до разсъмване.

Потокът Алфа-Каприкорниди се поражда от космически частици, отделени при разпадането на кометата 45P/Honda-Mrkos-Pajdušáková, с период 5,25 години.

Персеиди (PER)

Максимумът за 2020 г. на този най-популярен метеорен поток ще бъде на 12 август от 16^h до 19^h българско време. В нощите около 12 август Луната ще бъде във фази около последна четвърт и ще изгрява около полунощ. Например в нощта на 12 срещу 13 август Луната ще изгрее за София в 00^h 57^m, с 38% осветен диск. На 13 август Слънцето ще изгрее за София в 06^h 31^m. Въпреки Луната, във втората половина на нощите биха могли да се проведат ефективни наблюдения при наличие на много прозрачна атмосфера – например от място високо в планината.

Потокът Персеиди е активен от около 17 юли до 24 август. Тогава Земята, обикаляйки около Слънцето, преминава през облаци от космически частици, отделили се от кометата 109P/Swift-Tuttle (Суифт-Тътл). Това е дългопериодична комета, преминаваща през своя перихелий веднъж на близо 130 години. Персеиди е най-интензивният метеорен поток през лятото – с около 110 бързи бели метеора за час по време на своя максимум. Поради това, че се случва в удобно за наблюдение време – през все още топлите летни нощи, Персеиди традиционно привлича вниманието на много астролобители и любопитни хора от Северното полукълбо на Земята. Ефектът за наблюдателя е още по-голям поради това, че Персеиди се застъпва по време с потока Южни Делта-Аквариди и като резултат нощите през юли и август са много богати на метеори.

Ориониди (ORI)

Максимумът на този метеорен поток ще бъде на 21 октомври, като в края на нощта на тази дата ще могат да се видят около 15 бързи метеора за час. В нощите около 21 октомври Луната ще бъде във фази преди първа четвърт и ще залязва преди полунощ.

Потокът е активен от 2 октомври до 7 ноември и се поражда също от частици, отделили се при разпадането на Халеевата комета. Всъщност Ориониди и Ета-Аквариди се пораждат от метеорните роеве на един и същ поток, през които Земята преминава два пъти в годината.

Леониди (LEO)

Потокът Леониди е активен от 6 до 30 ноември, с максимум за 2020 г. на 17 ноември около 13^h българско време. На същата дата Луната ще залезе за София в 18^h 59^m вечерта, с 9% осветен диск (млада Луна).

По време на максимума на Леониди могат да се наброят около 15 бързи синьозеленикави метеора за час. Родителското тяло на потока е кометата 55P/Tempel-Tuttle (Темпъл-Тътл), имаща период около 33 години. Затова през същия период време Леониди се наблюдават като метеорни дъждове. Последният такъв бе през 2002 г., с интензивност около 3500 метеора на час.

Геминиди (GEM)

Този най-интензивен метеорен поток е активен преди началото на астрономическата зима, от 4 до 17 декември, когато Земята преминава през метеорни роеве, отделили се от астероида 3200 Фаетон. Максимумът на потока за 2020 г. ще бъде на 14 декември около 02^h 50^m българско време, когато ще могат да се видят около 120 бързи метеора за час. За 2020 г. Международната метеорна организация (ИМО) предвижда дори по-голямо зенитно часово число – около 150. В нощта на 13 срещу 14 декември Луната ще бъде в новолуние и условията за наблюдение ще бъдат отлични.

Урсиди (URS)

Последният за годината метеорен поток се наблюдава през ясните и мразовити зимни нощи, подобно на първия – Квадрантиди. Урсиди е активен от 17 до 26 декември, с максимум за 2020 г. на 22 декември около 11^h българско време, когато принципно могат да се видят около 10 средно бързи метеора за час. Родителското тяло на потока е кометата 8P/Tuttle.

В нощите около 22 декември Луната ще бъде във фази около първа четвърт и ще залязва около полунощ.

Важни понятия и препоръки при наблюдения на метеорни потоци

При планирането на метеорни наблюдения трябва да се съобразим с Луната, която при фаза около пълнолуние създава повишена осветеност на небето и с това възпрепятства визуалното и фотографското регистриране на слабите метеори. Традиционната препоръка към желаещите да проведат метеорни наблюдения е да изберат място, достатъчно отдалечено от нощните светлини на

градове и селища. Най-добри условия предлагат високопланински местности в ясни и безлунни нощи.

Метеорните наблюдатели трябва да са запознати и с две важни понятия – какво означава радиант на метеорен поток и зенитно часово число (ZHR).

Радиантът на даден метеорен поток е малка област от небето, спрямо която изглежда, че метеорите се разлитат във всички посоки наоколо. Ако наблюдаваме метеорен поток и внимателно нанасяме върху звездна карта траекториите на забелязаните метеори, то техните продължения в посока назад (обратно на движението на метеорите) ще се пресекат в радианта. Метеорните потоци носят имената на съзвездията, в които се намират техните радианти по време на максимумите им. Например радиантът на потока Персеиди (PER) се намира в съзвездието Персей (Perseus), на потока Геминиди (GEM) – в съзвездието Близнаци (Gemini) и т.н. Изключение прави метеорният поток Квадрантиди (QUA), наречен на вече несъществуващото съзвездие Квадрант (Quadrans Muralis), което се е намирало между фигурите на Голямата мечка, Волонг, Херкулес и Дракон.

Наблюдателите обаче не бива да си мислят, че всички метеори от даден поток се появяват само в съзвездието, в което е неговият радиант. При организирани групови наблюдения практиката е всеки наблюдател да оглежда определена област от небето, така че групата да може да регистрира всеки метеор, появил се в която и да е част на небосвода. За целта наблюдателите сядат с гръб един към друг.

Зенитното часово число на даден метеорен поток (Zenithal Hourly Rate – ZHR) определя неговата активност, т. е. колко метеора могат да бъдат видени по време на максимума, приведено към време един час. Например ако за 15 минути забележим 10 метеора, можем да кажем, че активността на потока е 40 метеора за час. Активността, указана в астрономическите календари чрез ZHR обаче би била реална само при идеални условия за наблюдение – в много ясна и безлунна нощ, ако радиантът на потока е в зенита, и ако отброяваме всички появили се метеори по целия небосвод (което не е във възможностите на сам наблюдател) и пр. Такива условия на практика рядко са налице, поради което реално наблюдаваната активност на метеорните потоци е по-ниска от стойностите на ZHR, давани за тях. От голямо значение е на каква височина над хоризонта се намира радиантът на даден поток по време на наблюдението. Ако радиантът е под хоризонта – още неизгрял или вече залязъл, метеори от потока не могат да се наблюдават.

ПО-ВАЖНИ КОСМИЧЕСКИ МИСИИ ПРЕЗ 2020 Г.

Представена е кратка информация за някои предстоящи космически мисии, като трябва да се има предвид, че винаги е възможно да има отлагане на плануваните стартове или отмяна на такива по различни причини. Към момента на съставянето на тази книга за някои мисии не са обявени дати на изстрелване.

7 януари – първото от общо 12 предвидени за 2020 г. изстрелвания на партии от по 60 спътника Starlink на компанията SpaceX, за осъществяване на сателитна интернет връзка. Извеждането на спътниците ще става с ракети Falcon 9 Block 5 от космическия център Кейп Канаверал, Флорида. Така до края на годината се предвижда SpaceX да изведе на ниска орбита 720 спътника Starlink.

11 януари – с ракета Falcon 9 от Кейп Канаверал, Флорида, ще стартира космическият кораб Crew Dragon на SpaceX за тест със симулиране на аварийно прекъсване на полета. Целта е да се провери способността на кораба да опази екипажа в случай на авария.

5 февруари – с ракета Atlas V от военновъздушната база Кейп Канаверал, Флорида, ще стартира космическият апарат Solar Orbiter на NASA и Европейската космическа агенция (ЕКА).

7 февруари – с ракета Союз-2/Фрегат-М от космодрума Байконур в Казахстан ще бъде изстреляна на ниска орбита група от 32 спътника на компанията OneWeb, с цел осъществяване на сателитна интернет връзка за цялата територия на САЩ. Следващи изстрелвания на сателити на OneWeb от Байконур и Куру, Френска Гвиана, са планирани през април, май, юни, юли, август, септември, ноември и декември. До края на годината се предвижда да бъдат изведени на ниска орбита около 600 такива спътника.

27 февруари – с ракета Falcon 9 от космическия център Кенеди във Флорида ще стартира корабът Crew Dragon на SpaceX, за първи тестов полет с екипаж до Международната космическа станция. На борда ще бъдат астронавтите Дъг Хърли и Боб Бенкен.

На 1 март с ракета Falcon 9 към МКС ще стартира и транспортният кораб Dragon CRS-20.

Еуропа Clipper на NASA ще бъде мисия до спътника на Юпитер Европа, с цел изследване на обширния воден басейн под ледената покривка на тази

луна, както и на възможността той да предоставя благоприятни условия за живот. Не е уточнена дата на старта.

Lunar Flashlight на NASA ще бъде мисия до Луната с цел изследване за наличие на летливи газове над южния лунен полюс, както и търсене на воден лед с помощта на лазери. Не е уточнена дата на старта.

9 април – с ракета Союз-2-1а и космически кораб Союз MS-16 от космодрума Байконур към Международната космическа станция ще поеме екип от трима души: руските космонавти Николай Тихонов и Андрей Бабкин, и астронавтът от NASA Кристофър Касиди. Това ще бъде 62-рата експедиция до МКС.

По-късно през същия месец – на 25 април, от Байконур ще бъде изстрелян товарният кораб Прогрес MS-14 за МКС, също с ракета Союз-2-1а.

Изстрелвания на товарни кораби от Байконур към МКС са предвидени още за 23 юли (Прогрес MS-15) и за 11 декември (Прогрес MS-16).

17 юли – ще стартира мисията на NASA „Марс 2020“, с цел доставка и спускане на големия по размери ровър Марс 2020 на повърхността на Червената планета. Ровърът е с дължина около 3 m и височина близо 2,2 m, с маса 1 тон и 50 кг, задвижван от 6 колела. Той ще изследва скали за наличие на следи от някогашен микробен живот, в район от Марс, за който се предполага, че в миналото е предоставял добри условия за възникването на такъв. Ровърът ще събира проби от марсианската повърхност и ще ги подготвя за доставяне на Земята от бъдеща мисия. Ще бъде изпробван малък хеликоптер (Mars Helicopter), проектиран за полет в силно разредената марсианска атмосфера. Очаква се мисията да стартира през юли или август, тъй като през октомври предстои противостояние на Марс с голямо негово приближаване до Земята (вижте „Видимост на планетите от Слънчевата система“ в тази книга). По същата причина през юли към Червената планета ще поемат и други космически апарати.

26 юли – с ракета Протон-М от космодрума Байконур ще стартира втората мисия от програмата ЕхоMars на ЕКА и Роскосмос. Целта е доставка и спускане на ровър върху марсианската повърхност през 2021 г., който ще сондира почвата до дълбочина 2 m в търсене на органични вещества и признаци за някогашен микробен живот.

Пак през юли с ракета Long March 5 от космодрума Wenchang в Хайнан, Китай, ще стартира мисията Huoxing-1 (Mars Global Remote Sensing Orbiter and Small Rover), с цел разполагане на апарат в орбита около Марс и спускане

на малък ровър върху повърхността на планетата. Ровърът ще търси органични вещества и биосигнатури – признаци за някогашен или настоящ микробен живот на Марс.

И още една мисия към Марс ще стартира през юли – с ракета Н-ІІА на Mitsubishi Heavy Industries, от Япония ще бъде изстрелян апаратът Норе на Обединените арабски емирства. Той ще влезе в орбита около Червената планета и ще изследва динамиката на марсианската атмосфера, както и взаимодействието ѝ със слънчевия вятър. Апаратът ще изучи разсейването на различни газове от състава на марсианската атмосфера в околното космическо пространство.

Мисията Near Earth Asteroid Scout (NEA Scout) на NASA ще изпрати „астероиден разузнавач“, за да изследва и картографира малкия астероид 1991 VG, представител на групата Аполо. Астероидите от тази група пресичат земната орбита и са потенциално опасни за нас. Не е уточнена дата на старта.

През август космическият апарат OSIRIS-REx ще вземе проби от повърхността на астероида Бену, чрез специално конструирания за целта механизъм Touch and Go Sample Acquisition Mechanism (TAGSAM). Предвижда се през септември 2023 г. мисията да достави на Земята най-малко 60 г проби от Бену за анализ.

14 октомври – с ракета Союз-2-1а и космическия кораб Союз МС-17 от космодрума Байконур към МКС ще поеме екип от трима руски космонавти: Анатолий Иванишин, Иван Вагнер и Николай Чуб.

През ноември с ракета Falcon 9 на SpaceX, от военновъздушната база Ваденберг в Калифорния ще бъде изстрелян спътникът Sentinel 6A, известен още като Jason-CS A – съвместен проект на Европейската космическа агенция, NASA, NOAA, CNES и Eumetsat. Спътникът ще продължи да получава данни за морското равнище, каквито преди са постъпвали от серията спътници Jason.

Пак през ноември се очаква да стартира мисията Chandrayaan-3 до Луната на Индийската организация за космически изследвания ISRO. След неуспешното меко кацане на Chandrayaan-2 през септември 2019 г., новата мисия има същата цел – да спусне ровър върху лунната повърхност. Chandrayaan-3 ще стартира от космическия център Satish Dhawan, Индия, с ракета GSLV Mark III.

30 ноември – с ракета Протон-М от космодрума Байконур на борда на МКС ще бъде доставен многоцелевият модул MLM Наука.

През декември японската мисия Hayabusa 2 ще достави на Земята проби-те, които бяха взети успешно от повърхността на астероида 162173 Ryugu през февруари и юли 2019 г. Космическият апарат Hayabusa 2 бе изстрелян на 3 декември 2014 г. от космическия център Tanegashima, Япония, с ракета Н-ПА на Mitsubishi Heavy Industries.

Chang'e-5 (Чанъе-5) е амбициозна мисия на Китайската Национална космическа администрация (CNSA) за доставяне на Земята на проби от лунната повърхност. Нейният старт е планиран за края на 2020 г. Предвижда се два апарата да кацнат в Океана на бурите (Oceanus Procellarum) и да вземат до 2 кг лунен реголит от дълбочина до 2 метра. След това единият апарат ще излети от лунната повърхност и ще достави взетите проби на останалите в орбита други два модула. В последния етап на мисията взетите проби ще бъдат транспортирани до Земята.

СПЕКТРОСКОПИЯ ЗА АСТРОНОМИ ЛЮБИТЕЛИ

Едно от най-увлекателните занимания на любителите астрономи е астрофотографията – чрез разнообразните практически задачи, които тя предлага, любителят има реалната възможност да получи множество теоретични знания, да овладее и усъвършенства различни методи от оптиката и фотографията, да придобие опит в провеждането на астрономически наблюдения и не на последно място – да получи вълнуващи резултати от своята работа. На тема астрофотография отдавна вече са достъпни много статии в различни уеб сайтове и списания, но тук ще насочим вниманието ви към друга интересна област – астроспектроскопията, в която методите на астрофотографията намират широко приложение. Спектроскопията е най-мощният съвременен научен метод за дистанционно и безконтактно изучаване на различни по природата обекти, поради което е намерила почетно място в астрономията. С нейна помощ можем да научим много за химическия състав, движението, температурата и ред други физични параметри на далечните астрономически обекти. Този факт буди недоверие у мнозина, но също така е способен да подтикне любознателните млади хора да изберат астрономията или физиката за свое поприще. Как обаче е започнало всичко? Историята на спектроскопията е интересна и твърде дълга, поради което по-долу съвсем накратко ще отбележим някои по-важни моменти от нея.

1666–1671 г. Исак Нютон (Isaac Newton) прави и описва своя опит с дисперсия на бялата светлина през триъгълни призми (*Newton's Experimentum Crucis*).

1802 г. Уилям Хайд Уоластън (William Hyde Wollaston) наблюдава 7 тъмни линии в слънчевия спектър при опитите си да регистрира ултравиолетовата светлина, след разлагане на бяла светлина с призма.

1814 г. Йозеф фон Фраунхофер (Joseph von Fraunhofer) наблюдава стотици тъмни линии в слънчевия спектър, наречени по-късно „Фраунхоферови линии“.

1842 г. Кристиан Доплер (Christian Andreas Doppler) предлага обяснение на причината, водеща до промяна на честотата на вълни, излъчени от движещ се спрямо наблюдателя източник. По-късно този ефект е наречен на неговото име.

1858 г. Густав Кирхоф (Gustav Robert Kirchhoff) и Роберт Бунзен (Robert Wilhelm Bunsen) откриват, че химичните елементи и съединения имат уни-

кални спектри, чрез които могат да бъдат разпознати, като чрез своеобразни баркодове. Двата учени откриват също аналогията в разположението на тъмните и на светлите линии, съответно в абсорбционните и в емисионните спектри.

1863–1868 г. Уилям Хъгинс (William Huggins) заснема спектрите на звездите Сириус и Капела, макар с лошо качество. По-късно открива отмествания на спектралните линии в спектъра на Капела и правилно ги тълкува като доплеров ефект.

1864 г. Анджело Секи (Father Pietro Angelo Secchi) използва обективна призма за фотографирание на звездни спектри. Той заснема спектрите на звездите от звездния куп Плеяди и от подобие в тях стига до извода, че те имат общ произход и са на еднаква възраст. Секи заснема спектрите на общо 4000 звезди и въвежда класификация на звездите по спектрални типове.

1913 г. Нилс Бор (Niels Henrik David Bohr) предлага квантов модел на водородния атом, в който електронът може да обикаля ядрото по точно определени стабилни орбити според своята енергия (енергетични нива). Атомът излъчва фотон, когато електронът прескача от орбита с по-висока енергия към по-ниска орбита. Моделът на Бор обяснява добре разпределението на линиите във водородния спектър, описано от Йохан Балмер (Johann Jakob Balmer) през 1885 г. за видимата част на спектъра, от Теодор Лайман (Theodore Lyman) през 1906 г. за ултравиолетовата област и от Фридрих Пашен (Louis Karl Heinrich Friedrich Paschen) през 1908 г. за инфрачервената област.

1910–1920 г. Весто Мелвин Слифър (Vesto Melvin Slipher) наблюдава червено отместване на спектралните линии на някои мъглявини, които по-късно са определени като галактики (след т.нар. Голям диспут).

Около 1920 г. е анализиран съставът на атмосферата на планетата Венера по спектъра на отразената от нея слънчева светлина.

1919–1922 г. Едуин Хъбъл (Edwin Powell Hubble) и Милтън Хюмасън (Milton Lasell Humason) наблюдават червени отмествания в спектрите на някои галактики и стигат до идеята за разширяващата се вселена.

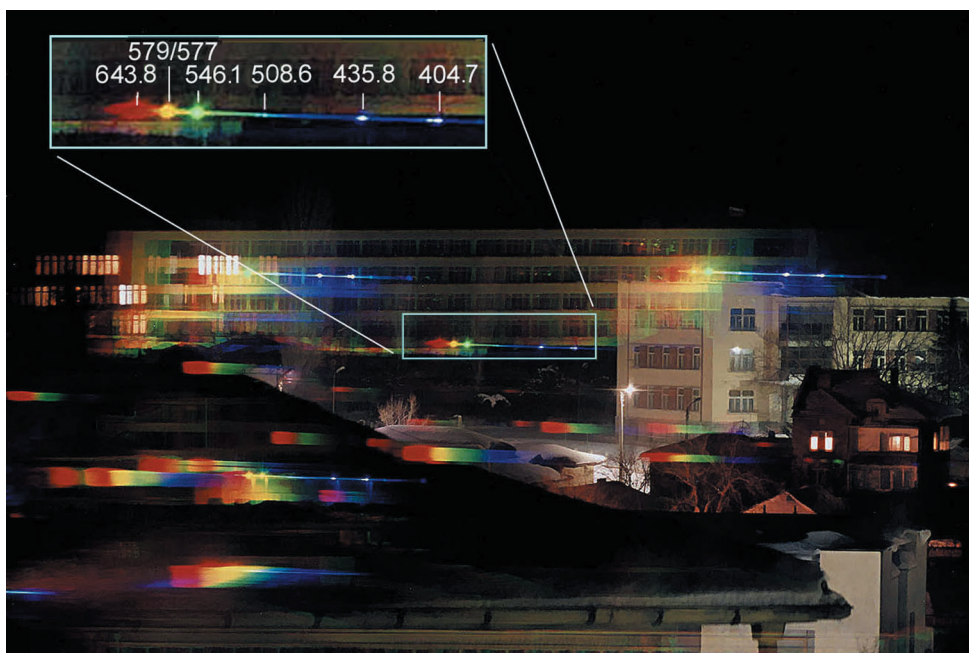
След първите си успешни астроснимки любителят може да се запита дали би могъл да заснеме слънчевия спектър с тъмните Фраунхоферови линии, спектъра на някоя звезда или дори ако може – спектъра на гореща газова мъглявина, като М42 в съзвездие Орион. Дали би могло с несъвършената лю-

бителска техника, често конструирана с подръчни материали, да се получат добри изображения на това, което наричаме „паспорти“ на астрономическите обекти? Разбира се, от самото начало няма да получите спектрални изображения с високо качество, но всеки по-сериозен астроном любител, след като придобие известен опит, е в състояние най-малкото да състави добра галерия от спектрите на по-бляскавите звезди. Такава галерия, подредена по спектрални класове, би могла да послужи за демонстрации в часовете по астрономия в училище или в кръжока по астрономия към някоя народна астрономическа обсерватория в страната. Освен това, днес вече много астролюбители от други страни успешно използват спектроскопски методи в своите напълно самостоятелни изследвания на различни типове променливи звезди, комети и дори свръхнови. Разбира се, това изисква оборудване, каквото един астроном любител у нас все още трудно може да си позволи, но всяко сериозно начинание започва от няколко прости идеи.

Работа с обективна призма или с обективна дифракционна решетка

Фотографирането на спектри в началото изглежда доста сложно – самата оптична система на спектрографа като че ли е трудна за реализиране. В самото начало ни връхлитат доста разколебаващи мисли – за необходимостта от стабилни конструкции, изработени с голяма точност, висококачествена оптика, голяма прецизност при насочването към обектите и при тяхното проследяване по време на дългите експозиции – докато телескопът се движи бавно, синхронно с видимото въртене на небесната сфера (т.нар. водене).

Именно затова отначало можем да опитаме с възможно най-простия метод, наричан „обективна призма“. За целта трябва да монтираме триъгълна призма пред фотографски телеобектив и да насочим установката към нощните светлини на града. Тогава във визьора на огледално-рефлексния фотоапарат ще видим серии от разноцветни изображения на живачните, натриевите и на останалите видове газоразрядни улични осветители. Тези разноцветни изображения съответстват на по-ярките линии в спектрите на живака или на натрия, а при по-новите типове осветителни тела се наблюдават широки разноцветни ивици, поради характера на излъчването на техните луминофори. Освен тези линейни и ивични спектри, ще видим също и непрекъснатите плавно преливащи в различни цветове спектри на обикновените електрически крушки с нажежаеми волфрамови жички, видими през прозорците на домовете. Тази гледка е наистина интересна. Тя ще бъде още по-впечатляваща, ако поставим призмата пред единия обектив на бинокъл с неголямо увеличение – от 6 до 10 пъти, и го насочим под нужния ъгъл към градските светлини.

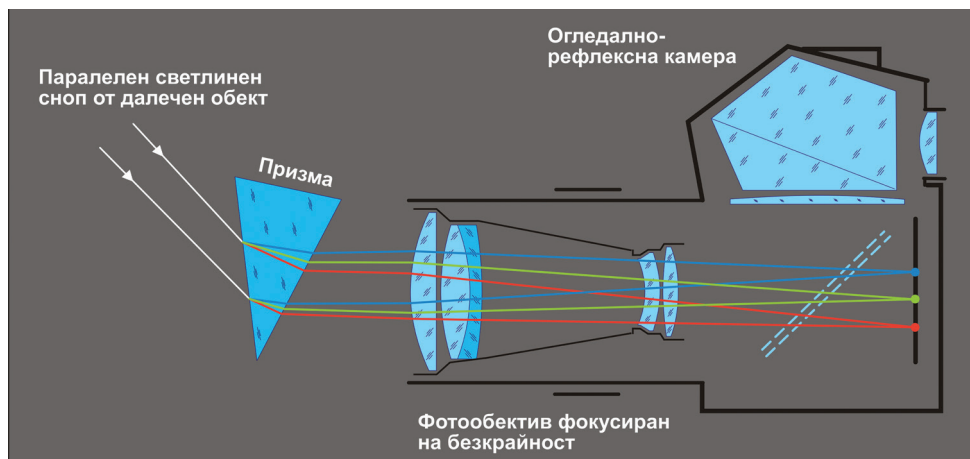


Спектри на нощни градски светлини, заснети през обективна призма. Последната е закривала само част от апертурата на фотообектива, поради което са се експонирали недиспергирани изобращения на сгради. Указани са дължините на по-ярките линии в спектъра на живачен уличен осветител (такива вече рядко са в употреба). Снимка: авторът, 1996 г.

При следващия ни експеримент можем да закрепим триъгълната призма неподвижно пред фотоапарат с нормален фотообектив – с фокусно разстояние около 50 mm и с почти напълно отворена диафрагма. Тази установка можем да насочим в безлунна нощ към някое ярко съзвездие – Орион, Голямата мечка или др. Тъй като призмата ще пречупва светлината на известен ъгъл, например на около 25° , трябва да коригираме насочването така, че да видим във визъора преливащите в различни цветове ивици на спектрите на по-бляскавите звезди. Ако сме насочили нашия импровизиран спектрограф към съзвездието Орион, веднага ще забележим, че спектърът на червеникавата звезда Бетелгейзе (горното ляво „рамо“ на Орион) се различава още на пръв поглед от спектъра на синкавата звезда Ригел (десния „крак“ на Орион). При този метод на наблюдение успоредните лъчи, идващи от далечните звезди, преминават през призмата, пречупват се с дисперсия според дължините на вълните си и попадат във фокусирувания на безкрайност фотообектив. Ако установката е закрепена неподвижно на статив, можем да направим експозиция с времетраене около 1–2 минути и така ще заснемем общия вид на спектрите на звездите в Орион.

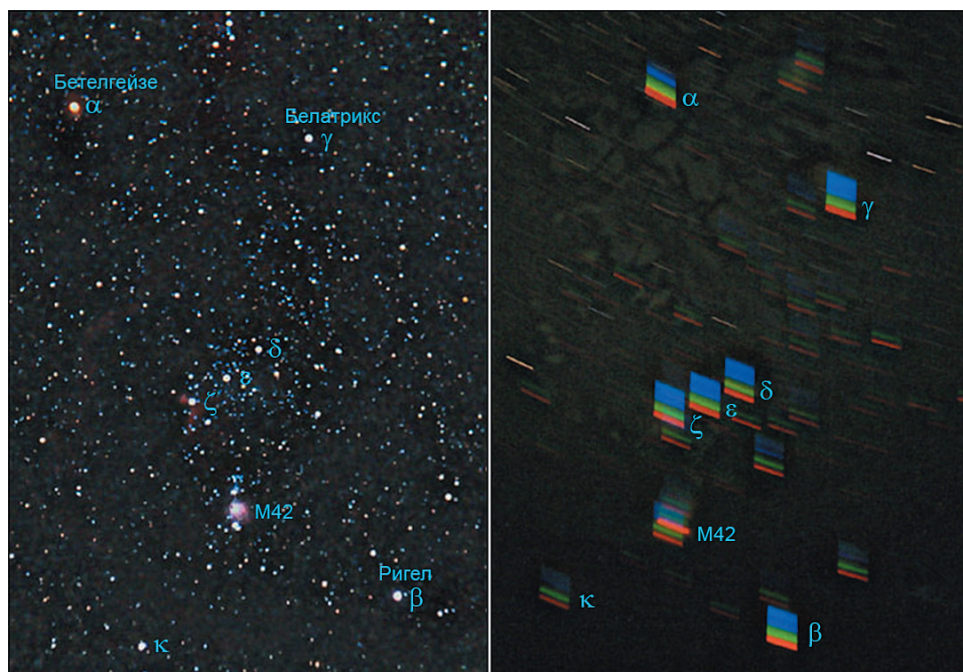


Фотоапарат с монтирана триъгълна призма пред обектива, закрепена с помощта на тяло, отлято от епоксидна смола. Използвана е поропризма от стар бинокъл, изработена от боросиликатен крон ВК4 с показател на пречупване $n_d = 1,53$ и число на Абе $v_d = 60,47$. Ъгълът на пречупващия ръб (т. нар. апекс) е 45° . Ъгъл на пречупване за дължината на натриевия дублет $\lambda_D = 26,7^\circ$ при позиция на призмата, съответстваща на т.нар. минимална девиация за тази λ (т.е. когато ъгълът на падане на бялата светлина спрямо нормалата към входната повърхност е еднакъв с ъгъла между напускащите призмата жълти лъчи и нормалата към изходната повърхност). Използват се само две от трите работни повърхности на призмата

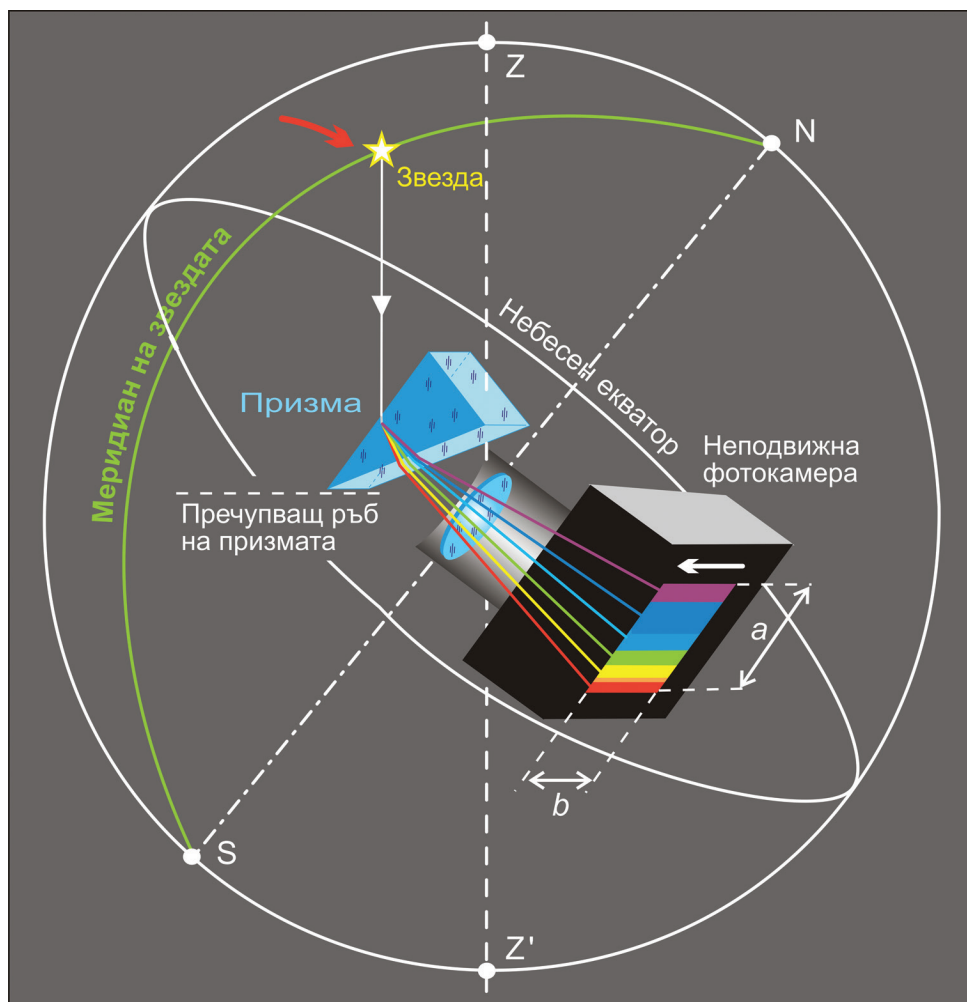


Ход на светлината при метода „обективна призма“. Светлинният сноп, идващ от далечния обект, е паралелен. Разноцветните снопове, получени при дисперсията в призмата, са също паралелни сами за себе си, но един спрямо друг са разходящи и така попадат във фокусирувания на безкрайност фотообектив. Спектралното разрешение ще зависи от ъгъла на пречупващия

ръб на призмата (апекса), от т.нар. средна дисперсия на стъклото, от което е изработена тя, и от фокусното разстояние на фотообектива. При по-големи стойности на тези три параметъра, във фокалната равнина на фотоапарата ще имаме по-дълги и по-детайлни спектрални изображения. Ако обектът е с пренебрежимо малки ъглови размери – звезда или далечна газоразрядна лампа, в неговия спектър ще се наблюдават тъмни (абсорбционни) линии или ярки емисионни линии от горещите йонизирани газове (в лампата)



Спектри на звездите от съзвездieto Орион, заснети с обективна призма с описаните по-горе параметри. Призмата е монтирана пред фотообектив Pentacon 50/1,8. Тъй като тя не е закривала напълно обектива, освен спектрите са се експонирали и трекове на звезди от съзвездieto Колар. Снимка: авторът, 1986 г.



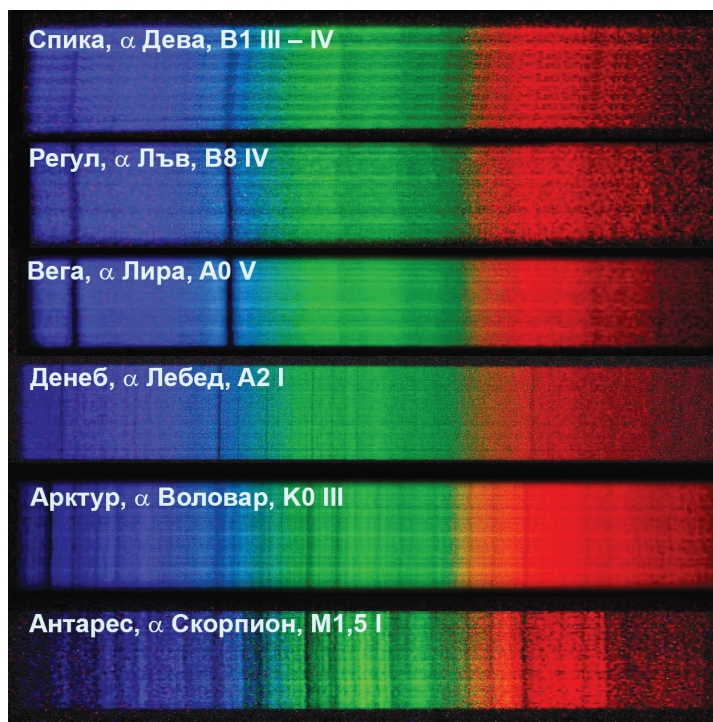
Оптимална ориентация на неподвижна установка с обективна призма

N и S – небесни полюси (северен и южен)

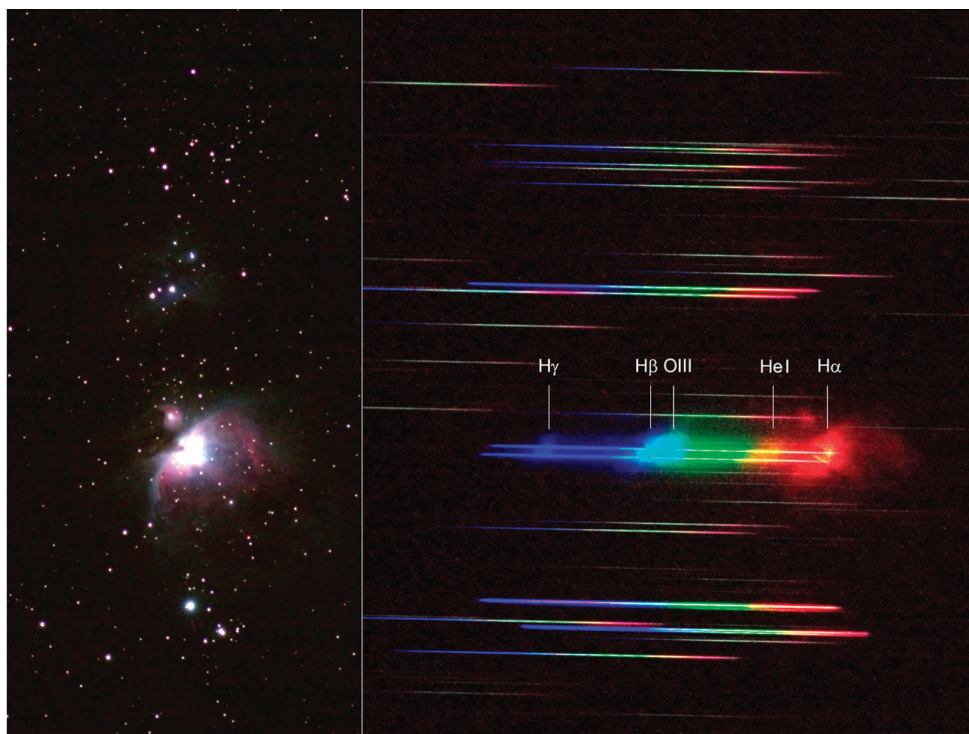
Z и Z' – зенит и надир

При преместването на звездата поради видимото въртене на небесната сфера нейният спектър се „разстила“ във фокалната равнина на неподвижната камера, в посоката, указана с бяла стрелка. Пречупващият ръб на призмата е ориентиран перпендикулярно на меридиана на звездата (представен в зелено). За предпочитане е по време на наблюдението звездата да кулминира. По време на дългата експозиция спектърът ще покрие площ от приемника $a \times b$, като дължината a зависи от ъгловата дисперсия на призмата и от фокусното разстояние на обектива. Ширината b зависи от времетраенето на експозицията. При работа с обективна призма или с обективна дифракционна решетка трябва да се избере време със спокойна атмосфера. Турбулентността в атмосферата води до видимо примигване и до леки движения на образа на звездата, които влошават спектралното разрешение – линиите в получените спектри се „замазват“ – не са ясно изобразени

При този метод няма добър начин напълно да се избегне частичното припокриване на спектрите на видимо близки ярки звезди. Това обаче трябва да се избягва поне за обектите, чиито спектри представляват интерес и са цел на снимката. Трябва да се помни, че може да се получи нежелано припокриване на спектралните изображения и при несъобразено време на експозицията, ако се работи с неподвижна установка. Например ако фотографираме спектрите на трите звезди от „пояса“ на Орион, то при експозиция над 4 минути спектрите им в кадъра ще се застъпят.



Спектри с ниска резолюция на някои бляскави звезди, заснети с обективна дифракционна решетка. В спектрите на звездите от ранния клас В (горе) се забелязват само широките тъмни абсорбционни линии Н β и Н γ на водорода, докато в тези на звездите от късните класове К и М (например на червения гигант Антарес) се наблюдава голямо множество тъмни линии на различни химични елементи, синтезирани в недрата на звездата по време на дългия ѝ живот. Работата с обективна дифракционна решетка е аналогична с метода обективна призма, като обаче трябва да се внимава в тъмнината да не докоснем и увредим фината структура по работната повърхност на решетката. Не бива да се допуска и натрупване на конденз върху нея при повишена влажност на нощния въздух. Ако все пак решетката се навлажни, трябва да я внесем в закрито помещение и да я оставим да изсъхне сама, без да я подсушаваме. Препоръчително е да се изработят сенници от картон или от други леки подходящи материали, предпазващи решетката от странична светлина. Същите ще я предпазват от неволни докосвания, а донякъде – и от влагата



Обикновена снимка и спектър на горещата газова мъглявина М42 в съзвездие Орион, заснет с гореописаната триъгълна призма, монтирана пред телеобектив Таир 3-С 300/4,5. Разноцветните изображения на мъглявината съответстват на позициите на указаните по-долу спектрални линии на водорода, хелия и кислорода. Снимка: авторът

Дължини λ на по-ярките линии:

H α – 656,3 nm, водород

He I – 587,6 nm, хелий

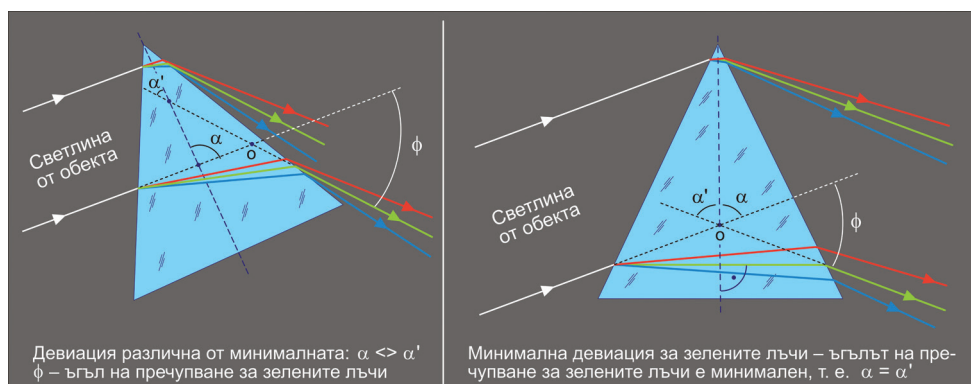
OIII – близки линии на 495,9 и 500,7 nm, кислород

H β – 486,1 nm, водород

H γ – 434,0 nm, водород

Има още една особеност в ориентацията на призмата – как тя е завъртяна около оста си спрямо световизточника, чийто спектър се наблюдава, и как зависи от това ъгълът, под който например жълто-зелените лъчи (т.е. средната област от получения спектър) напускат призмата. Ако посоките на един падащ и пречупен монохроматичен (едноцветен) лъч са симетрични спрямо ъглополовящата на пречупващия ъгъл (апекса) на призмата, отклонението на пречупения лъч е минимално. Тогава казваме, че имаме позиция с **минимална девиация** за дадената дължина λ . На пръв поглед изглежда трудно да се намери точно тази позиция, но след няколко проби ще придобиете достатъчно опит, за да я определите с приемлива точност. Това става, като наблюдавате

изменението на ъгъла на пречупената светлина при неголямо завъртане на призмата около нейната ос. Необходимо е след няколко пробни леки завъртания в двете посоки призмата да се фиксира в това положение, при което е налице най-малък ъгъл на пречупване за средата на получения спектър. При всяко друго положение този ъгъл расте и една от двете работни повърхности – входната или изходната, остава под по-голям наклон спрямо преминаващата през призмата светлина. Ако бялата светлина попада прекалено косо върху входната повърхност, ще имаме загуби поради частичното отражение в нея, особено ако сме близо до ъгъла на Брюстър θ_B (θ_B е около $56,5^\circ$ за кроновите стъкла и около $58,3^\circ$ за флинтовите). Ако пък пречупените лъчи напускат изходната повърхност под прекалено голям ъгъл спрямо нейната нормала, този ъгъл може да се окаже близък до ъгъла на пълно вътрешно отражение θ_C и също да имаме загуби. Да си припомним, че $\theta_C = \arcsin(n_2 / n_1)$, където n_1 е показателят на пречупване на стъклото, а n_2 – на въздуха (т.е. $n_2 \approx 1$). Ето защо устройството, придържащо призмата пред обектива, трябва да е така конструирано, че последната да е фиксирана в позиция, близка до минимална девиация за средната област от видимия спектър. Веднъж определена, ориентацията на призмата вече не представлява грижа за работещия. Чрез завъртане на призмата на неголям ъгъл около оста ѝ можем да променяме нейната ъглова дисперсия в известни граници.



Ориентация на триъгълна призма в позиция с минимална девиация за зелените лъчи. При минимална девиация за дадена дължина на вълната λ , в случая – за зелените лъчи, последните се движат вътре в самата призма успоредно на третата ѝ работна повърхност (долната в тази фигура)

Време е да се замислим от какво би зависила плътността на полученото върху негатива (или матрицата) спектрално изображение, ако работим с неподвижен фотоапарат? От светлочувствителността на приемника – разбира се. От диаметъра на обектива и от размерите на призмата пред него – безспорно. От фокусното разстояние на обектива – също. При по-дълго фокусно разстояние спектралното изображение ще покрие по-голяма площ от сензора за единица време, но за сметка на това ще бъде по-недоекспонирано (по-тъмно).

Трябва да се вземе предвид обаче още едно свойство на призмата – степента, в която тя диспергира бялата светлина. Често се казва, че една призма пречупва зелените лъчи примерно на 27° , но това не я характеризира напълно. Пречупването е функция от дължината на светлинната вълна λ , затова би било добре да се знаят показателите на пречупване на стъклото, от което е изработена призмата, за две достатъчно отдалечени спектрални линии. Например показателят на пречупване n_F за синята водородна линия **F** ($H\beta$) с дължина на вълната 486,13 nm и показателят на пречупване n_C за червената водородна линия **C** ($H\alpha$), с дължина 656,27 nm. Разликата

$$n_F - n_C$$

се нарича **средна дисперсия на веществото**.

Съществуват и други характеристики, като **относителната дисперсия**:

$$\frac{1}{v_d} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1},$$

където n_D е показателят на пречупване за средата на натриевия дублет **D**, с дължина на вълната 589,29 nm. Често различните породи стъкла се описват с реципрочната стойност на относителната дисперсия, наречена **коэффициент на дисперсията** или **число на Абе** (Ernst Abbe, 1840–1905):

$$v_d = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}.$$

Съществува по-нов стандарт (ISO 7944-84), в който средната и относителната дисперсия на стъклата, както и техните числа на Абе, се определят на база други дължини на вълната. Според него средната дисперсия се дава с разликата:

$$n_{F'} - n_{C'},$$

където $n_{F'}$ е показателят на пречупване на стъклото за синята линия на кадмия **F'** с дължина на вълната 479.99 nm, а $n_{C'}$ е показателят на пречупване за червената линия на кадмия **C'**, с дължина 643,85 nm.

Съответно за относителната дисперсия ще имаме:

$$\frac{1}{v_e} = \frac{n_{F'} - n_{C'}}{n_e - 1},$$

където n_e е показателят на пречупване за линията на живака **e**, с дължина 546,07 nm.

В този случай коефициентът на дисперсията (числото на Абе) ще бъде:

$$v_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}.$$

Вероятността обаче да познаваме тези параметри за стъклото на една случайно попаднала ни призма е твърде малка. Затова е най-добре да се провери на дисплея или във визъора на огледално-рефлексния фотоапарат каква област от небето се побира в кадър според фокусното разстояние на обектива и с каква дължина се проектират изображенията на звездните спектри върху матовото стъкло на визъора, според дисперсията на призмата.

Да илюстрираме по-подробно зависимостта между плътността и мащаба на спектралното изображение, параметрите на обектива и дисперсията на призмата. Нека първо монтираме призма пред телеобектив с фокусно разстояние 100 mm и да измерим дължината на получените звездни спектри във фокалната равнина на фотоапарата. Изображенията на спектрите се получават като разноцветни по дължината си ивици, на места видимо нахъсани от тъмните линии на поглъщане на водорода и др. елементи от състава на звездните атмосфери. Нека примерно получените спектри са с дължина 10 mm. Ако сменим телеобектива с друг, с двойно по-дълго фокусно разстояние – с $f = 200$ mm, но със същия диаметър (приемаме, че и в двата случая призмата или дифракционната решетка закрива целия диаметър на обектива), то със същата призма бихме получили двойно по-дълги спектрални изображения, което би позволило да се наблюдават повече детайли в тях. За същата продължителност на експозицията при водене обаче изображенията ще бъдат два пъти по-недоекспонирани, защото теоретично ивицата на спектралното изображение е идеално тънка и светлината, която я изобразява, се разпределя единствено по нейната дължина. На практика ивицата на спектралното изображение при добра фокусировка би трябвало да е с ширина няколко микрона – какъвто диаметър би имал образът на звезда във фокуса на телескопа, но по причини, коментирани в края на статията, ивицата може да се окаже нееднакво широка по дължината си (нееднакво добре фокусирана).

При снимане с неподвижен фотоапарат трябва да включим и времето като фактор, определящ плътността (осветеността) на изображението. Ако пречупващият ръб на призмата е ориентиран перпендикулярно на меридиана на някоя звезда, то ивицата на нейния спектър върху сензора ще е съпосочна с меридиана и ще се придвижва в посока, перпендикулярна на него, заради видимото въртене на небесната сфера. Така ще се експонира площ от кадъра, равна на дължината на ивицата, по дължината на пътя, изминат от нея в перпендикулярна посока, за времето на експозицията. Например за 10 минути една звезда описва ъгъл от $2,5^\circ$ спрямо небесния полюс. Ако звездата е близо

до небесния екватор и работим с обектив с $f = 100 \text{ mm}$, преместването на нейното спектрално изображение върху сензора ще бъде с около $4,36 \text{ mm}$ за това време. Но при обектив с $f = 200 \text{ mm}$ ще имаме преместване около $8,72 \text{ mm}$ за същото време, т.е. два пъти повече. Двойно по-дългото фокусно разстояние, както отбелязахме, означава двойно по-дълга и по-слаба ивица на спектралното изображение. Освен това обаче сега имаме и двойно по-бързо придвижване на ивицата върху сензора в перпендикулярна на нея посока. Следователно при втория обектив теоретично ще имаме четирикратно по-слабо експонирано изображение, заемащо 4 пъти по-голяма площ от кадъра. Тук отново приемаме, че обективите са с еднакви диаметри и че призмата или дифракционната решетка ги закрива изцяло.

За да можете да получавате достатъчно добре експонирани спектри на по-слаби звезди, можете да използвате т.нар. метод на пасажа. За целта е нужно оптичната установка да бъде монтирана на статив с екваториална глава, но без включено водене. Паралелно на тубуса на телескопа или на телеобектива, използван за спектрографа, се монтира гидескоп – малък телескоп с окуляр с кръст за визуално гидиране. При този метод няма нужда да се използва цифрова камера за автоматично гидиране. Преди започване на дългата експозиция, насочете гидескопа към звездата, чийто спектър ще фотографирате, така че образът ѝ да се проектира в центъра на неговия окуляр (в центъра на кръста). По време на експозицията звездният спектър се премества във фокалната равнина – както е описано по-горе, като същевременно се премества и образът на звездата в окуляра на гидескопа. След изтичане на предвиденото за експозицията време закрийте призмата с лек заслон от матовочерен картон и чрез неголямо завъртане на установката около часовата ос в посока запад, пренасочете телескопа, докато образът на същата звезда се окаже отново в центъра на кръста на гидескопа. Махнете заслона пред призмата, за да продължите експозицията, при което спектърът на звездата ще се експонира върху същото място от повърхността на приемника, т.е. ивицата на спектъра повторно ще обходи същата област от негатива или матрицата за същото време. Повторете тази процедура няколко пъти, за да се експонира повече изображението. Внимавайте в началото на всяко повторение (на всеки нов пасаж) образът на звездата да бъде точно в центъра на кръста на гида. Това, както и добре ориентираната към небесния полюс часова ос на монтировката, ще гарантират прецизността на работата ви. Броят на нужните пасажии зависи от блясъка на звездата, от светлочувствителността на матрицата или на филма, от размерите на призмата и от фокусното разстояние на обектива.

Ще намерите описан този метод на пасажа и в други публикации, посветени на астрофотографията, но той крие рискове от грешки. Например точността при всяко поредно пренасочване на установката е под въпрос, особено при

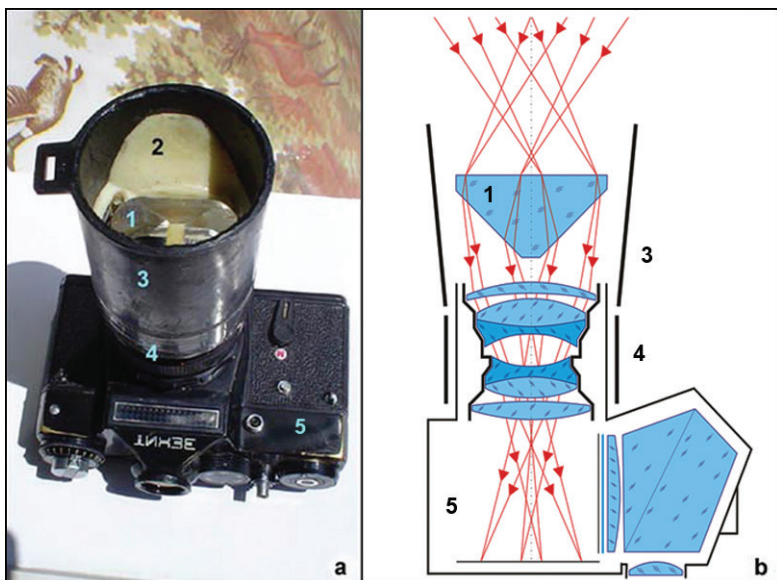
самоделна любителска техника. Затова ви предлагаме друг метод, при който се включва водене с леко забавена скорост. Нека при неподвижна установка спектърът на една звезда обхожда кадъра по неговата дължина, примерно за време 10 минути. Ако сметнете, че така експонираното изображение е с недостатъчна осветеност и пожелаете да я повишите, например 4 пъти, включете воденето, като го забавите (ако може) с толкова, че времето за пасажа да достигне 40 минути. Така ще получите резултат, еквивалентен по горния метод на четирикратно пренасочване на неподвижната установка, но без риск да сбъркате. Освен това не се изисква гидиране, а само няколко проверки за времето на обхождане на кадъра.

Гореописаните методи биха ви били от полза едва след като получите първите си резултати „на сяло“ – със средствата, с които разполагате, и по начин на работа, който ви е най-удобен. Едва след това, усъвършенствайки методиката на работата си, ще можете да се възползвате от горните разсъждения, за да подобрите резултатите си.

Да се спрем и на въпроса кои фотографски филми са по-удачни – цветните или черно-белите? (Това е част от старата версия на статията, писана през 2002 г., когато мнозина фотографи все още снимаха на филми. Въпросът обаче може да бъде отнесен аналогично към цветните и монохромните съвременни цифрови приемници.) Първият вариант безспорно е по-атрактивен и дава добра ориентация за областите от спектъра, при разпознаването на регистрираните в него линии. Но много често цветовъзпроизвеждането се оказва доста нереално и понякога може да поднесе изненади. Например дълбоко в синята област някои по-интензивни линии могат да се възпроизведат като синьо-зелени или светлосини, а някои по-ярки линии в зелената област могат да изглеждат жълти. За да избегнете това, можете да опитате с черно-бели панхроматични филми, като специалните спектроскопски 103-F и 103a-F на Kodak (аналогично за научни цели днес се използват монохромни цифрови камери). С тези и с подобни емулсии ще заснемете далеч по-детайлни спектри. За предпочитане е обаче да помислите за монохромен цифров приемник. Така пред вас ще се разкрият много повече възможности и удобства при цифровия анализ на получените резултати.

Една задача, върху която можете да експериментирате и при която резултатите ви могат да се окажат с по-сериозна научна стойност, е фотографирането на спектри на ярки метеори, по време на максимума на някой от по-интензивните метеорни потоци през годината. Тогава можете да ползвате широкоъгълен фотообектив с монтирана пред него призма, ориентирана така, че пречупващият ѝ ръб да бъде съпосочен с някои от радиусите към тази точ-

ка от небето, която се нарича радиант на потока. Не е препоръчително да се наблюдава самият радиант. Вероятността за успешно заснемане на метеорен спектър обаче е доста по-малка от вероятността да се фотографира метеор по обичайния начин, тъй като неговата яркост трябва да бъде значително по-висока (да е болид), за да се получи достатъчно добре експонирано спектрално изображение.



Вариант на обективна призма за фотографиране на метеорни спектри, конструиран от автора през 1987 г. При него се наблюдават едновременно две области от небето, като се използват трите полирани повърхности на призмата. Поропризмата 1 се придържа двустранно от тялото 2, отлято от епоксидна смола и монтирано в конусния тубус 3. Последният се поставя пред нормалния фотообектив 4 на фотоапарата 5.

До идея за такова приспособление можем да достигнем, след като се сблъскаме с проблема, че най-често призмите, които можем да намерим, са с ограничени размери. Поради това дори при работа с широкоъгълен фотообектив се обхваща площ от небето едва около $30^\circ \times 30^\circ$. Ограничените размери на призмата причиняват силно винетиране (потъмняване на образа към краищата на кадъра, засенчване) и практически се използва само централната част от приемника. За да се удвои това поле и за да се увеличи и без това малкият шанс за успешно заснемане на метеорен спектър, е нужно устройство, придържащо призмата така, че и трите нейни повърхности да бъдат свободни. Това позволява да се наблюдават две еднакви несъседни области от небето

Друга интересна задача е получаването на възможно по-детайлен спектър на дадена звезда, като се използва вече описаният метод с обективна призма. В зависимост от дисперсията на призмата ще трябва да изберете телеобектив с такова фокусно разстояние, че спектралното изображение да запълва почти изцяло кадъра. При това може да се наложи да използвате телеобектив с фо-

кусно разстояние близо 1 m или по-скоро – вашия телескоп. При достатъчно големи размери на призмата можете да получите добри резултати чрез снимане от неподвижна установка на екваториална глава с периодично пренасочване на телескопа (т.е. по метода на пасажа) или със забавено водене. Тези методи може да са единствените решения за вас при работа с тежка дългофокусна оптика. При тях се избягва необходимостта от прецизно водене, което много често е проблемно с любителски средства.

За да се намали вероятността спектърът на интересуващата ви звезда да се припокрие с този на друга, близко проектираща се, е добре да използвате призма с по-малка ъглова дисперсия и телеобектив с по-дълго фокусно разстояние. Така близките звезди ще останат извън обхвата на обектива. Нужно е също да се работи във време с много спокойна атмосфера – без забележима турбуленция.

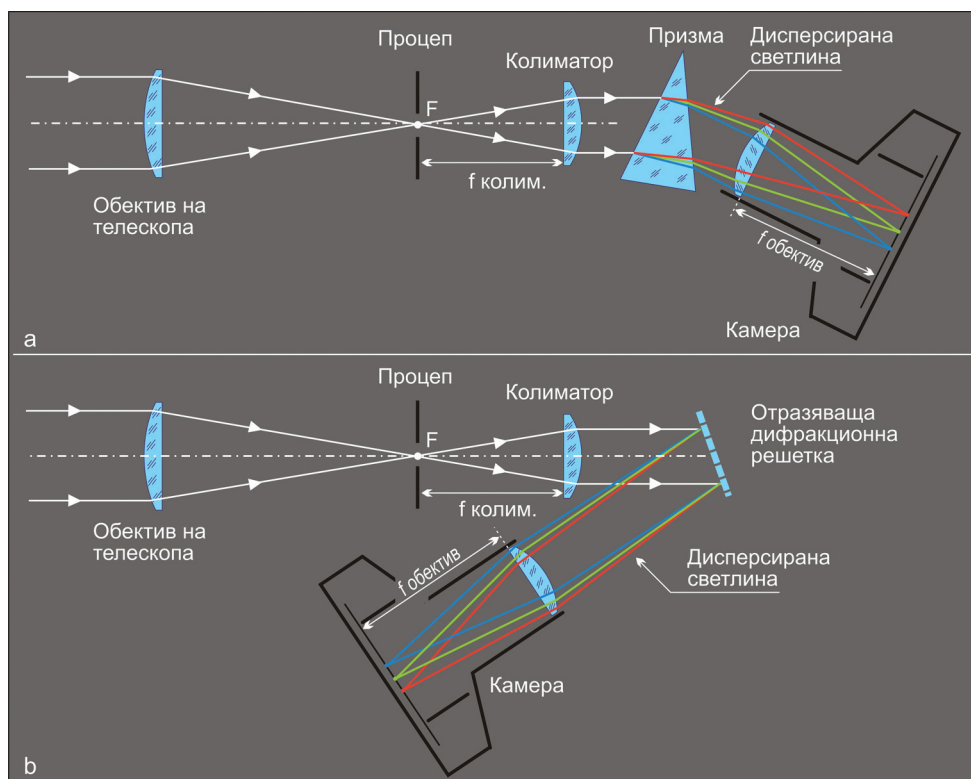
Конструиране на любителски призмов спектрограф

Напредъкът на технологиите и постоянно падащите цени на електрониката и на оптичните детайли правят идеята за конструиране на класически спектрограф все по-примамлива за астрономите любители. От друга страна, съвременните софтуерни продукти позволяват лесна и прецизна обработка на спектралните изображения, поради което днес в някои страни любители извършват сложни спектроскопски изследвания на астрономически обекти. До неотдавна това се считаше за запазена територия само за професионалисти.

Изработката на импровизиран класически спектрограф е по-трудна задача. Неговата оптична система се състои от четири задължителни елемента. Първият от тях е тесен процеп, лежащ във фокалната равнина на телескопа или на фотографския телеобектив, който ще бъде насочван към обектите. Вторият елемент е колиматорът – обектив, който привежда преминалата през процепа и разсейваща се след него светлина в успореден сноп лъчи. За колиматор може да се използва по-дългофокусен фотографски обектив – с фокусно разстояние между 80 и 200 mm или обектив от бинокъл. Колиматорът трябва да е добре коригиран от сферична и хроматична (цветна) аберация, но това изискване вече не е проблем, тъй като съвременните фотографски обективи са достатъчно качествени. Колиматорът се монтира обърнат обратно – със задната си леща към процепа на спектрографа. Така неговият заден фокус трябва да съвпада точно с прекия фокус на телескопа, който се намира в процепа. Това условие гарантира, че преминалата през колиматора светлина продължава във вид на паралелен сноп към диспергиращия елемент на спектрографа – призма или дифракционна решетка. Тъй като повечето любители астрономи не биха решили веднага да заделят нужните средства за закупуване на качествена дифракционна решетка, първо ще обсъдим по-достъпния вариант – със стъклена триъгълна призма. Призмата се фиксира в позиция, близка

до минимална девиация за зелените лъчи, т. е. когато ъгълът на попадане на бялата светлина върху входната повърхност на призмата е равен на ъгъла, под който зелените лъчи от получения спектър напускат изходната повърхност. Пречупената през призмата диспергирана светлина попада в четвъртия и последен оптичен елемент – обектива на камерата. За такъв може да се използва телеобектив с неголямо фокусно разстояние. Този обектив построява спектралното изображение върху сензора на камерата. Необходимо е диаметърът му да е достатъчно голям, а разстоянието между него и призмата – възможно по-късо, за да може разноцветните светлинни снопове, напускащи призмата под различни ъгли, изцяло да попадат в обектива – без да имаме загуби. В ролята на камера на първо време можете да използвате огледално-рефлексен (SLR или DSLR) фотоапарат, който ще улесни много настройката на спектрографа и с който лесно ще извършите първите му тестове. Ако обаче планирате да провеждате спектрални наблюдения с цел обучение по спектроскопия или научни изследвания, трябва да помислите за добра цифрова камера с монохромен сензор. Изображенията от такава камера могат да бъдат коректно анализирани със специализиран софтуер и носят надеждна информация за интензитета на спектралните линии. Причината за тази препоръка е, че сензорите на обикновените фотоапарати са покрити с мозайка от миниатюрни разноцветни светофилтри – например т.нар. Байерови филтри (Bayer filter mosaic), при които всеки пиксел от матрицата е покрит с един син, зелен или червен светофилтър, поради което е чувствителен само към съответния цвят. Така сензорът може да регистрира цветни изображения, които обаче не са годни за фотометричен анализ. Резултатите от такъв анализ ще бъдат повлияни от цветната филтърна мозайка.

На схемата на с. 63 е показан принципът, по който работят спектрографите, конструирани по класическа оптична система. Важно е да се знае, че процепът на спектрографа, намиращ се във фокус на колиматора, трябва да се ориентира успоредно на оста на призмата или на щрихите на дифракционната решетка. Изработката на процепа изисква малко повече внимание. Препоръчително е той да бъде с регулираща се ширина – например чрез микрометричен винт, което обаче усложнява много конструкцията. Добро решение е да се закупи фабричен регулируем процеп. Най-лесно е да се изработи процеп с фиксирана ширина (примерно 0,02 mm) от две бръснарски ножчета, лежащи в една равнина с остриетата си едно срещу друго. Образуваният между тях процеп трябва да бъде равномерно широк по цялата си дължина, а по остриетата не бива да има подбитости и пращинки. Добре е да се предвиди възможност процепа да може временно да се завърта на 90° в равнината, в която лежи (т. е. във фокалната равнина на телескопа). Това би улеснило фокусировката на спектрографа, чрез контрол през визюра на огледално-рефлексния фотоапарат.

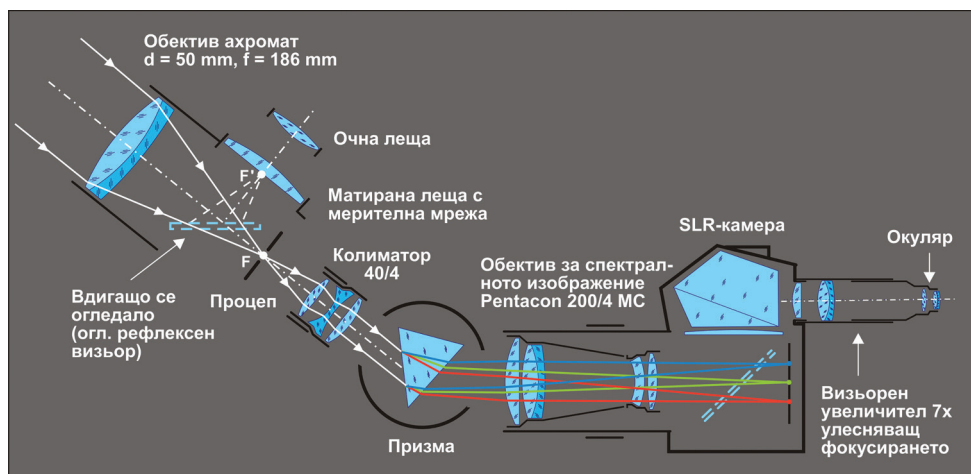


Принципни оптични схеми на класически спектрографи с призма (a) и с отразяваща дифракционна решетка (b)

Обективът на телескопа фокусира светлината от обекта в прекия си фокус F , който се намира в процепа на спектрографа. След процепа светлината продължава като разсейващ се сноп към колиматора – втори обектив, чиято роля е да приведе тази светлина в успореден сноп лъчи. В такъв вид тя попада в диспергиращия елемент – призма или дифракционна решетка. След дисперсията разноцветните светлинни снопове попадат във фокусиращия на безкрайност обектив на камерата и спектралното изображение се построява върху нейния приемник. Препоръчително е оптичната система да е проектирана така, че фокусното разстояние на колиматора да е по-дълго или съизмеримо с фокусното разстояние на камерния обектив, но не и по-късо



Саморъчно конструиран от автора призмов спектрограф, монтиран до телескоп „Konuspace-500“, 1999 г. Спектрографът има собствен обектив, а телескопът до него служи само за гидиране (проследяване на обекта по време на дългите експозиции, чрез бавно движение на телескопа синхронно с видимото въртене на небесната сфера)



Оптическа схема на самоделния спектрограф. Недостатък на тази първи спектрограф на автора бе, че фокусното разстояние на колиматора е в пъти по-късо от това на камерния обектив, поради което разноцветните изображения на процепа (т.е. спектралните линии) се възпроизвеждаха с увеличение. Това влошаваше спектралната разделителна способност, но при конструирането на прибора с подръчни средства, тогава това бе единственото възможно решение

Първият обектив (на телескопа или фотографски телеобектив) построява образа на избраната звезда в прекия си фокус F , където лежи процепа на спектрографа. Последният се отваря толкова, че да подбира звездното изображение в ширината си. Диаметърът на звездното изображение зависи от параметрите и качеството на обектива на телескопа, както и от турбулентността на атмосферата в наблюдателната нощ. Ъгловият диаметър на звездния образ може да бъде примерно $1,5''$, като е нужно да се пресметне на каква линейна ширина на процепа отговаря той, предвид фокусното разстояние на телескопа. Например при фокусно разстояние 1 m ъгълът от $1,5''$ ще съответства на ширина на процепа близо $7\text{ }\mu\text{m}$ ($0,007\text{ mm}$). Това е доста тясно, затова докато насочвате установката към обекта и проверявате дали образът на звездата попада точно в процепа, ще ви бъде по-удобно, ако първоначално го отворите по-широко.

Ако наблюдаваният обект има видими размери (мъглявина, комета), чрез свития процепа може да бъде избрана част от неговия образ и да бъде получен спектър само от нея. Тази възможност е особено полезна при някои по-специални наблюдателни задачи.

Фокусирането на системата се извършва чрез придвижване на първия (телескопния) обектив и на колиматора спрямо равнината на процепа. Обективът на камерата е предварително фокусиран на безкрайност. Прецизното насочване към обекта може да се контролира през визьор от матирана леща с разчертан върху плоската ѝ повърхност кръст или мерителна мрежа. Светли-

ната от телескопа се отразява към визъора чрез подвижно плоско огледало под наклон 45° . С вдигането на това огледало може да се даде начало на експозицията, ако затворът на камерата е предварително отворен.

Дали обаче има особен смисъл от конструирането на такъв по-сложен прибор и какви предимства ни дава той? Вероятно забелязахте, че методът с обективната призма е приложим повече за наблюдение на спектри на звезди и на други отдалечени светоисточници, т.е. на обекти с пренебрежимо малки видими размери. Със спектрографа обаче можем да снимаме спектри на светоисточници с видими размери (лампи, екрани, Слънцето, планети, мъглявини), чиито изображения се построяват от някакъв обектив в равнината на процепа. Като поставяме процепа на спектрографа в избрана част от образа на такъв обект, ние отделяме ивица светлина, която, пречупена през призмата на различни ъгли – според дължините на светлинните вълни, ще възпроизведе върху приемника на камерата поредица от разноцветни изображения на самия процеп. Това всъщност са линиите в един емисионен спектър (например на луминесцентна лампа). Ако светлината от обекта е бяла, т.е. ако в нея се съдържат всички цветове, във фокалната равнина на камерата ще се появи непрекъснат спектър – ще имаме безброй много изображения на процепа, сливащи се в непрекъсната лента с плавно преливащи цветове. Такъв непрекъснат спектър имат например лампите с нажежаема волфрамова жичка. Обратно – ако светлината е едноцветна (монохроматична), върху приемника на камерата ще се появи само един-единствен образ на процепа в съответния цвят – една спектрална линия.

Колкото по-свит е процепът на спектрографа, толкова по-детайлен спектър ще получим – с по-тънки линии, което ще ни позволи да видим като разделени някои близки такива, като например двете жълти линии на натриевия дублет на дължини 588,99 и 589,59 nm. Ако обаче свием процепа твърде много, осветеността на получения спектър спада, особено ако и обектът е с ниска яркост.

Друго предимство на спектрографа е, че за разлика от метода с обективната призма, тук няма вероятност в кадъра да се застъпят спектри на близко проектиращи се звезди, защото образът на интересуващата ни звезда се поставя в процепа и се наблюдава само нейният спектър.

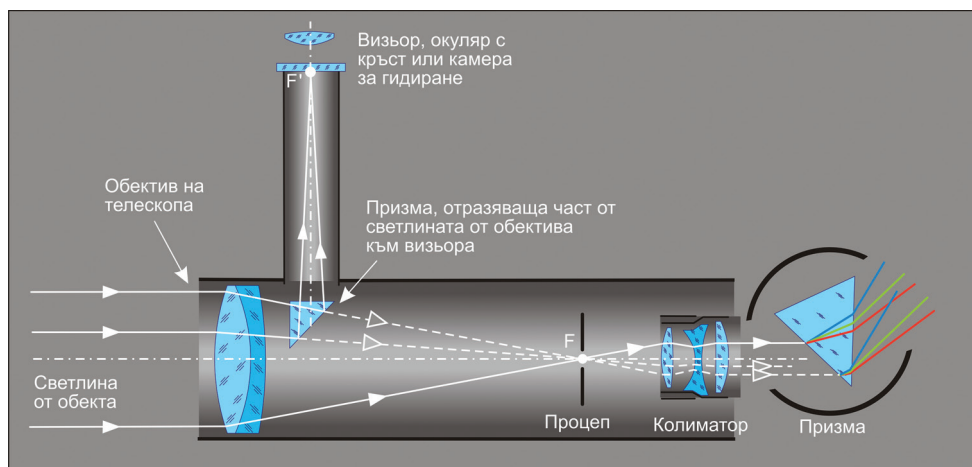
Следва още едно важно предимство: При метода „обективна призма“ трябва да се задоволим с ограничените размери на самата призма, поради които в обектива попада малко светлина и не можем да снимаме спектри на слаби обекти. При спектрографа обаче се оползотворява светлинният поток, преминал през цялата площ на телескопния обектив (тук изключваме загубите от поглъщането на оптиката). За целта е необходимо отношението f/d на колиматора да е не по-голямо число от f/d на обектива на телескопа, за да не се отрязват периферните лъчи от разходящия сноп след процепа. Също така трябва при това отношение диаметърът на колиматора да не е по-голям от размерите

на призмата или на дифракционната решетка, за да може целият светлинен поток след колиматора да преминава през диспергиращия елемент.

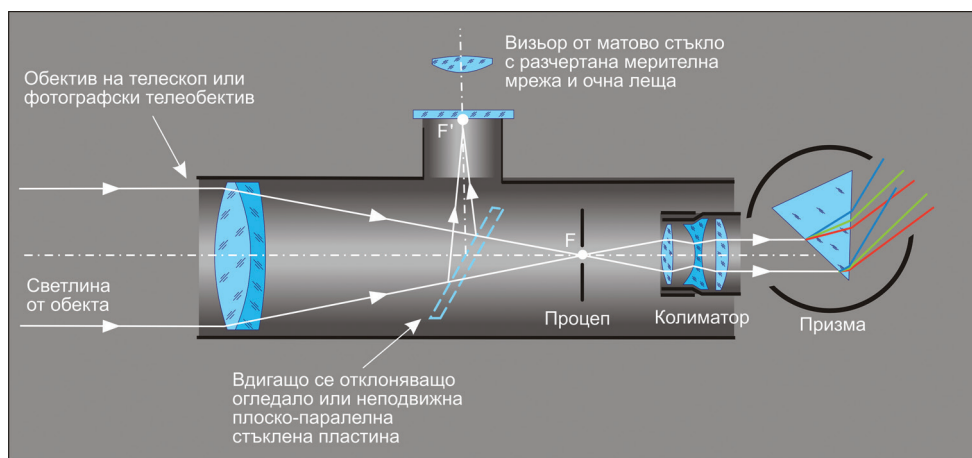
И още едно особено важно предимство: При спектрографа има възможност да се извърши калибриране, като на отделен кадър при свит процеп се заснема емисионен спектър на познат светоизточник – с известни положения (дължини λ) на спектралните линии. Това е т.нар. **спектър за сравнение**, или **калибровъчен спектър**. За да получим такъв, можем да използваме живачна или глим лампа, като ще ни е нужно и описание на нейните спектрални линии – съответно на живака или неона. Такива описания (спектрални атласи) съдържат информация за дължините λ и интензитета (яркостта) на линиите. За професионални цели обикновено се използва ториево-аргонова (ThAr) лампа, чийто спектър е далеч по-богат на емисионни линии. Такава лампа обаче ще ни бъде полезна само ако нашият спектрограф е с по-висока разделителна способност. Интерактивен спектрален атлас с информация за линиите на ториево-аргонова лампа може да бъде разгледан на уеб адрес http://iraf.noao.edu/specatlas/thar_phottron/thar_phottron.html.

След като заснемем спектър за сравнение, без да променяме настройките на спектрографа, на следващите кадри (или дори на същия – ако работим с филм или фотоплаки) заснемаме и спектъра на изследвания обект. Следва процедура, при която спектърът за сравнение се съпоставя със спектъра на обекта – двата се слагат един до друг или се налагат един върху друг. Така спектърът за сравнение служи като ориентир при определянето на дължините на регистрираните линии в спектъра на обекта. При обработката на спектри, заснети с цифрова камера, тази процедура се извършва софтуерно.

За да бъдем обективни, трябва да се спрем и на някои проблеми при използването на спектрографа, особено ако ще се работи със свит процеп. Преди всичко е необходимо точно насочване към обекта и удобно гидиране по време на дългите експозиции. Конструирването на оптика, позволяваща това обаче, не е съвсем лесна задача. По-долу са разгледани няколко възможни решения.



Отбиване на периферна част от светлинния поток зад телескопа или телеобектива с призма (или с малко отклоняващо огледалце) към окуляр за гидиране. Окулярът трябва да бъде снабден с кръст или с разчертана мерителна мрежа в предния си фокус. Вместо окуляр може да се монтира гидираща цифрова камера. Това би позволило гидиране по обекта през цялото време на експозицията, но желателно е отразяващият елемент да бъде монтиран максимално близо зад последната леща на обектива, където фокусиращият се сноп все още е с достатъчно голям диаметър. При фотографските телеобективи обаче такъв монтаж е невъзможен

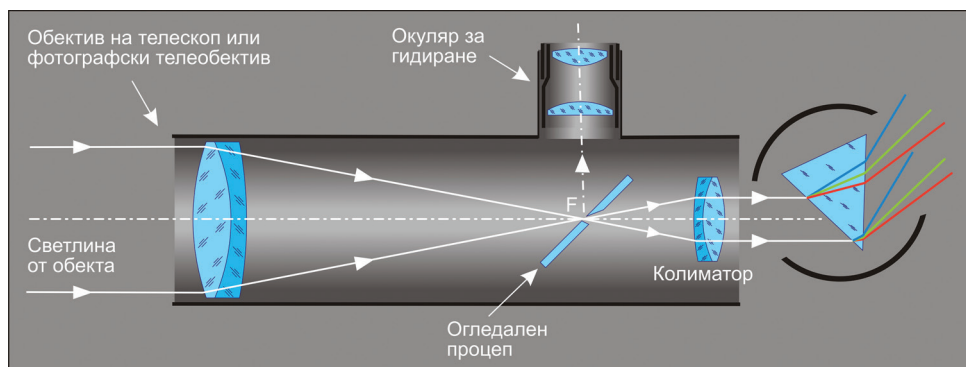


На схемата е представен по-подробно вариантът, при който между телескопа (или телеобектива) и процепа на спектрографа се монтира вдигащо се отклоняващо огледало под наклон 45° . То отразява светлината към визьор с матово стъкло, с разчертана мерителна мрежа, или към окуляр за гидиране с кръст. Така първо можем да центрираме обекта в полето, което е гаранция, че след вдигането на огледалото образът на обекта ще се проектира точно върху процепа. За целта процепът и матовото стъкло трябва да са парафокални. Вдигането на огледалото се извършва чрез лостова система и пружина, позволяващи тази процедура да се изпълнява без сътресения. С вдигането на огледалото може да се даде начало на експозицията, ако затворът

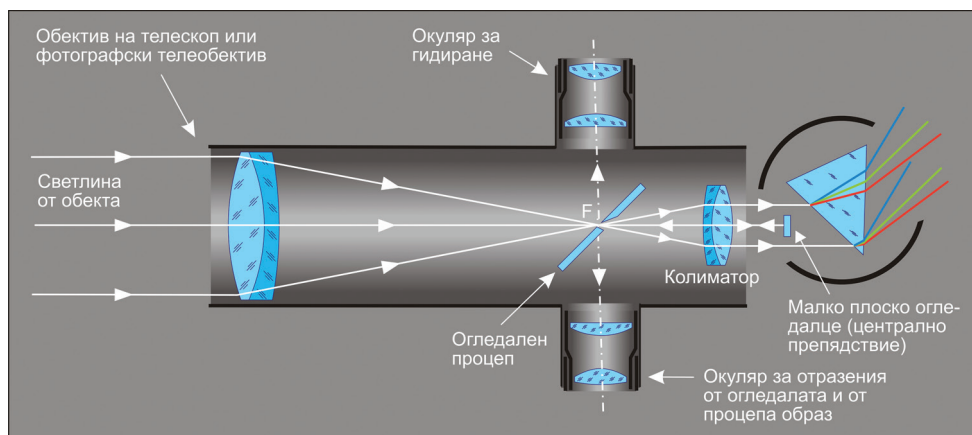
на фотоапарата е предварително отворен. Необходимостта от използване на паралелен гидескоп по време на експозицията обаче остава, тъй като тогава обектът е невидим във визьора на спектрографа.

Ако спектрите се снимат с компютърно управляема цифрова камера, процесът може да се синхронизира така, че по време на източването на кадрите в компютъра, огледалото на визьора да се спуска и ако има нужда – да се извършат корекции в насочването към обекта.

За да се избегне нуждата от паралелен гидиращ инструмент, на мястото на отклоняващото огледало може да се постави тънко плоско-паралелно неподвижно стъкло, също под наклон 45° . То ще отразява малка част от светлината към страничния окуляр с кръст, което ще позволи гидиране по обекта през цялото време на експозицията. Изображението на обекта в окуляра обаче ще бъде твърде слабо и леко раздвоено, т.е. обектът трябва да е достатъчно ярък. Използването на качествено тънко покривно стъкло за изготвяне на микроскопски препарати е добра идея.



Най-практичното класическо решение за устройство на входен блок – с огледален процеп, съставен от две плоски огледала (огледални ножове), лежащи в една равнина. Между техните подходящо оформени остриета се образува процепът, който освен във фокусите на телескопа и на колиматора, се намира и в предния фокус на окуляра за гидиране. Това позволява наблюдателят да вижда ясно както образа на обекта, така и самия процеп. Тогава чрез леки корекции в насочването на телескопа образът може да се постави в процепа. За разлика от визьорите с подвижни вдигащи се огледала, с така устроения входен блок може да се гидира удобно през цялото време на експозицията. Като ориентир ни служат двете сияния на звездата, оставащи видими от двете страни на процепа. Яркостта на тези сияния, често наричани „крила“ на звездата, зависи от ширината на процепа. Ако последният е толкова широко отворен, че образът на звездата се побира изцяло в него, няма изобщо да виждаме „крила“. Затова е нужно компромисно решение за ширината на процепа, така че гидирането да ни бъде по-удобно



Усложнен вариант на горното класическо решение: Под огледалния процеп е добавен втори окуляр, а в паралелния сноп след колиматора се монтира малко плоско огледалце, връщащо част от светлината обратно към процепа. Малкото огледалце е съвсем леко неперпендикулярно на главната оптична ос, а задните страни на ножовете на процепа са също отразяващи. През долния окуляр, с контролна цел може да се наблюдава отразеният образ на процепа, заедно с преминалата през него светлина от обекта (т.е. вижда се прозиращият през процепа обект). Нужно е обаче телескопът да не е с централно препятствие (трябва да е рефрактор), защото иначе малкото огледалце след колиматора ще остане в сянката на вторичното огледало на телескопа, която сянка продължава назад през цялата оптична система. В случай че телескопът е огледален, малкото огледалце може да се изнесе встрани от главната оптична ос, за да попадне в светлинния поток

Проблем е и точното фокусиране на първия обектив (телеобектива или телескопа) спрямо равнината на процепа. Няма начин тази фокусировка да се контролира пряко, освен ако преди процепа не се конструира визьорна система, като описаните във фигурите горе. Но и без пряк контрол тази фокусировка може да се постигне с нелоша точност. Вече обяснихме как се фокусира колиматорът спрямо процепа, с помощта на огледално-рефлексния визьор на фотоапарата. Тази фокусировка трябва да бъде извършена предварително. След това, ако отворим широко процепа и насочим спектрографа към далечна лампа или към бляскава звезда, ще можем да извършим и фокусировката на телеобектива спрямо равнината на процепа. За целта е необходимо да фокусираме телеобектива, така че във визьора на фотоапарата ивицата на спектъра на наблюдаваната звезда да стане най-тънка.

Конструирание на спектрограф с дифракционна решетка – някои съображения при проектирането на оптичната система

Има още някои особености при избора на параметрите за оптичните елементи, съставляващи спектрографа. Ще обсъдим някои от тях, валидни по-специално при конструирането на спектрограф с дифракционна решетка. Ако

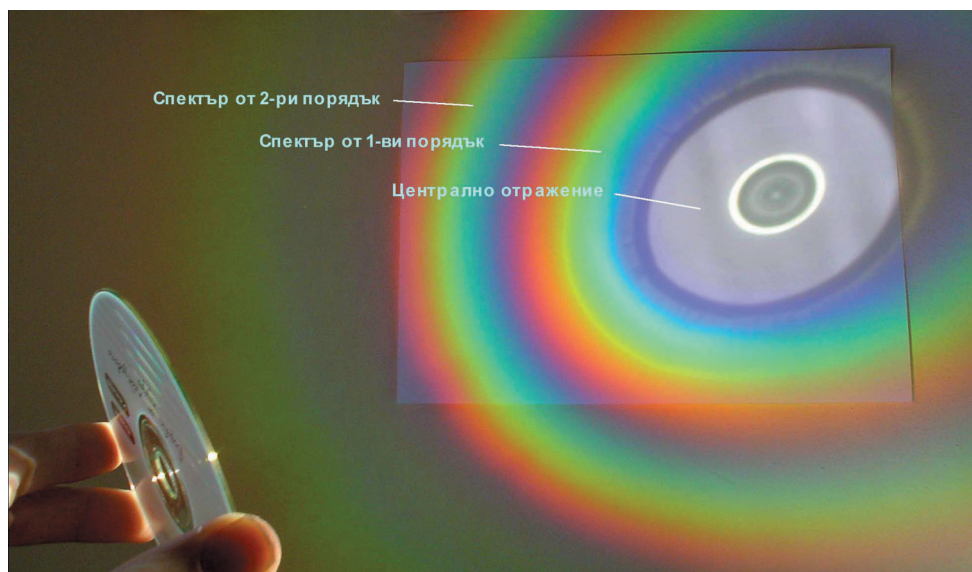
решите да конструирате такъв спектрограф, значи имате сериозни намерения да го използвате за някакви ваши изследвания и сте готови да инвестирате повече средства и време в това начинание.

Какво е нужно да се знае за дифракционните решетки? Като начало – не много.

Има два основни типа дифракционни решетки – прозрачни (работещи в преминала светлина) и отразяващи. Чрез специални технологии върху едната повърхност на прозрачните решетки са образувани тесни успоредни процепчета, през които светлината дифрактира, а при отразяващите решетки е формиран профил с тесни успоредни огледални ивици. За по-кратко тези процепчета, респ. ивици, се наричат линии или щрихи. Разстоянието между средите на две съседни линии е основен параметър на дифракционната решетка – нейната константа. По-често обаче се упоменава броят линии на 1 mm дължина от работната повърхност, например 600 линии/mm, 800 линии/mm и пр.

Ако пропуснем бяла светлина през прозрачна дифракционна решетка, след нея с невъоръжено око можем да видим до няколко на брой редуващи се непрекъснати спектъра, разположени симетрично от двете страни на един бял централен максимум. Ще забележим още, че с отдалечаване от централния максимум тези спектри стават все по-бледи и с тенденция в тях да преобладават все по-сини и виолетови цветове. Всеки от тези спектри, в зависимост от отдалечеността си от централния бял максимум, се номерира като спектр от порядък 1-ви, 2-ри, 3-ти и т.н. Всичко това най-лесно може да се види, като се държи решетката срещу светеща електрическа крушка с нажежаема волфрамова жичка. Колкото дисперсията на решетката е по-голяма, т.е. при повече линии на 1 mm, толкова по-малък брой спектрални порядъци се наблюдават от двете страни на централния максимум. Последният се брои като порядък 0. Порядъците, които са по-отдалечени от нулевия, са с видимо по-голяма дисперсия – отделните цветове в тях са разпръснати в по-голям ъгъл. CD дисковете и различните холограмни стикери също имат свойства на дифракционни решетки, но на отразяващи такива. Нерядко те правят доста голяма дисперсия. Ако накланяме един CD диск на различни ъгли спрямо падащата върху него светлина, можем лесно да видим спектри до 3-ти порядък. Възможно е да се експериментира, като парче (сектор) от CD диска се използва в ролята на дифракционна решетка за спектрограф, при което обаче, по ред причини, не бива да очакваме високо качество на спектралните изображения (за повече подробности разгледайте сайта

<http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html>).

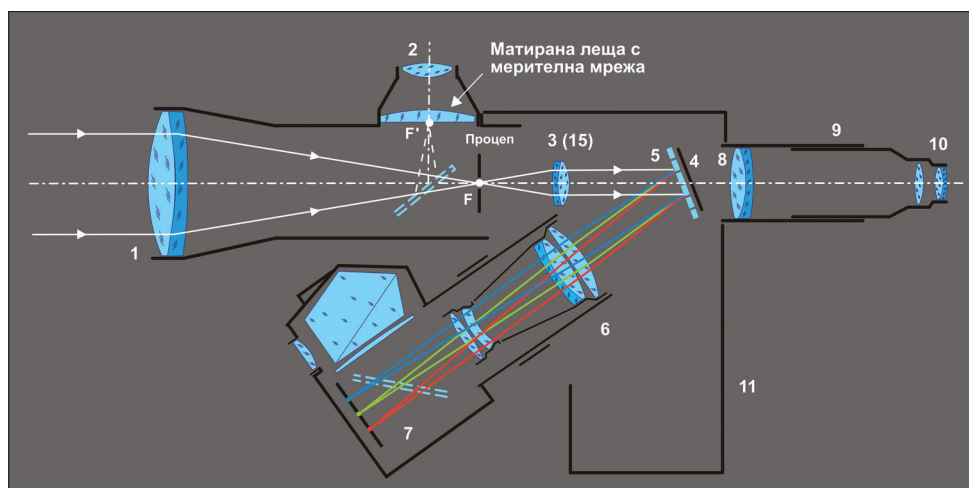


CD диск като отражателна дифракционна решетка. Пътеките на диска играят ролята на шрихи и дифрактиралата при отражението в тях светлина възпроизвежда върху бял екран два ярки спектрални порядъка и трети, много по-слаб. Те са концентрично извити около централното отражение. Ако със CD диска отразим светлина от газоразрядна (метал-халогенна) лампа, полученият спектър ще бъде във вид на ярки разноцветни линии или ивици, видими директно – без нужда от допълнителна оптика

Легенда на фигурите от с. 73: **1** – първи обектив (фотографски нормален или телеобектив), построяващ образа на изследвания обект в равнината на процепа; **2** – окуляр на огледално-рефлексен визьор с вдигащо се огледало. В задната част на този визьор е монтиран процеппът; **3** – телеобектив Revuenon 135/2,8 auto, в ролята на колиматор; **4** – механизъм за настройка и фиксиране на работния ъгъл на дифракционната решетка; **5** – отразяваща дифракционна решетка с 600 линии/mm; **6** – телеобектив Pentacon 200/4 на огледално-рефлексия фотоапарат **7**, фокусиран на безкрайност; **8** – двueleментен обектив-ахромат 25/125 mm, f/5, на контролната зрителна тръба **9**, с окуляр **10**. Фокусно разстояние на окуляра: 15 mm. Тръбата е фокусирана на безкрайност и има увеличение 8,3 пъти. Ако решетката **5** се завърти така, че да застане успоредно на лъчите в паралелния сноп след колиматора, или ако временно се премахне, през окуляра **10** се вижда увеличеният образ на процепа. Така може да се провери фокусировката на колиматора **3** спрямо процепа; **11** – корпус на прибора, матовочерен отвътре, с възможност за паралелно прикачване към гидиращ телескоп, монтиран на статив с екваториална глава; **12** – подвижен сенник, предпазващ вътрешността на прибора от странична светлина и прах; **13** – зрителна тръба с увеличение 4 пъти и с обърнат образ, съставена от нормален фотообектив Хелиос-44М-4, 58/2 и окуляр Ерфле с фокусно разстояние 14 mm. Тръбата е предварително фокусирана по далечни обекти. Ако тя бъде монтирана на мястото на фотоапарата **7**, спектралните изображения могат да се наблюдават визуално; **14** – стандартни удължителни гривни за макроснимки, с резби М 42 × 1 mm, използвани за монтаж на описаните дотук компоненти. Чрез комбинации от различни по дължина такива гривни може бързо да се определят разстоянията, на които трябва да бъдат фиксирани обективите или окулярите според техните фокусни разстояния. Това е изключително удобно и дава възможност за бързо модифициране на оптичната схема на спектрографа; **15** – втори колиматор – двueleментен ахромат 30/125 mm, f/4,17, алтернатива на телеобектива Revuenon 135/2,8 (виж 3).



Спектрограф с отразяваща дифракционна решетка, конструиран от автора през 1996 г.



Оптическа схема на решетъчния спектрограф

Обикновено в професионалните спектрографи се използват отразяващи (отражателни) дифракционни решетки. Техните линии – споменатите тесни огледални ивици, са под неголям страничен наклон спрямо основната равнина на решетката – като миниатюрни ниски стъпала. От този наклон зависи т.нар. **оптимизация** на решетката – в коя посока и в спектъра от кой порядък ще се концентрира по-голямата част от светлинната енергия, при условие че осветяваме решетката фронтално. С други думи – къде полученият спектър ще бъде най-ярък. В документацията на една отразяваща дифракционна решетка можем да видим например следните данни:

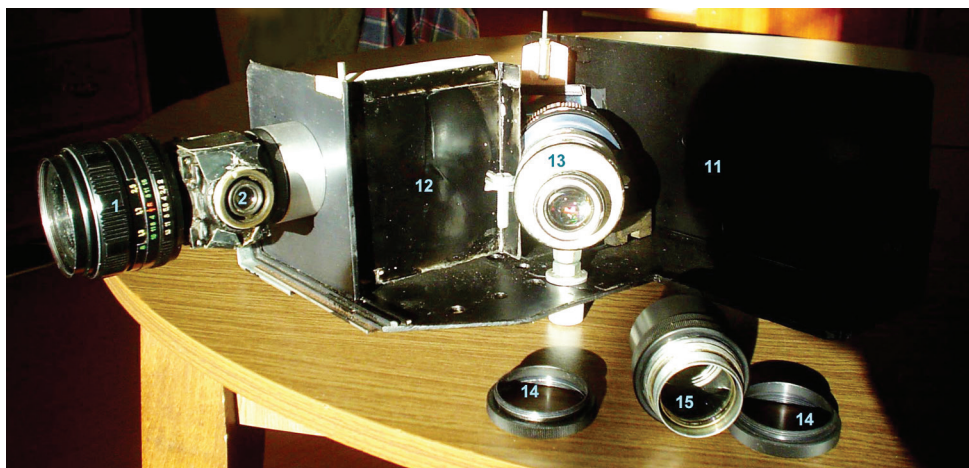
Брой линии на 1 mm от повърхността: 1200; Максимална концентрация на светлинната енергия: за $\lambda = 500 \text{ nm}$ в спектъра от 1-ви порядък; Област с преимуществена концентрация на над 40% от светлинната енергия: от 350 до 1000 nm в спектъра от 1-ви порядък.

Накрая, но не на последно място по значение, трябва да помним, че дифракционните решетки са особено уязвими. Всеки допир до работната им повърхност може да увреди непоправимо фината структура от стотици линии на милиметър. Почистването на дифракционни решетки е деликатна процедура и е най-добре да не се достига до необходимост от такава.

Накратко за начина на настройка на спектрографа

Описаните по-долу настройки принципно важат за всеки спектрограф, конструиран по такава класическа схема. Добре е да сме сигурни, че фокусировката на първия обектив **1** (вж. двете фигури по-горе) спрямо равнината на процепа е извършена добре и че светлината от обекта, който ни интересува, попада в процепа. Това се контролира през окуляра **2** на огледално-рефлексния визьор, след което подвижното му огледало се вдига. Ако спектрографът няма огледално-рефлексен визьор или огледален процеп, е нужно да се предвиди възможност като следната: Дифракционната решетка **5** трябва да може да се отклонява временно встрани или да се изважда изцяло, за да се провери през окуляра **10** на контролната тръба **9** дали образът на интересувания ни обект прозира през процепа. Тогава последният се наблюдава под увеличение през колиматора **3**, обектива **8** на тръбата и окуляра **10**, които са съосни. През окуляра **10** може да се контролира и фокусировката на колиматора **3** спрямо равнината на процепа, което е много важна настройка. Трябва да сме сигурни, че светлината след колиматора е във вид на паралелен сноп. След тези настройки дифракционната решетка **5** се връща на позицията си – на необходимия ъгъл, зададен предварително чрез фиксиращ се ограничител на механизма **4**. Тогава обективът **6** построява спектралното изображение във фокалната равнина на SLR или DSLR камерата **7**. Воденето по време на спектрални снимки се извършва по обичайния начин – както при обикновени астроснимки с дълги експозиции. Ако спектрографът не

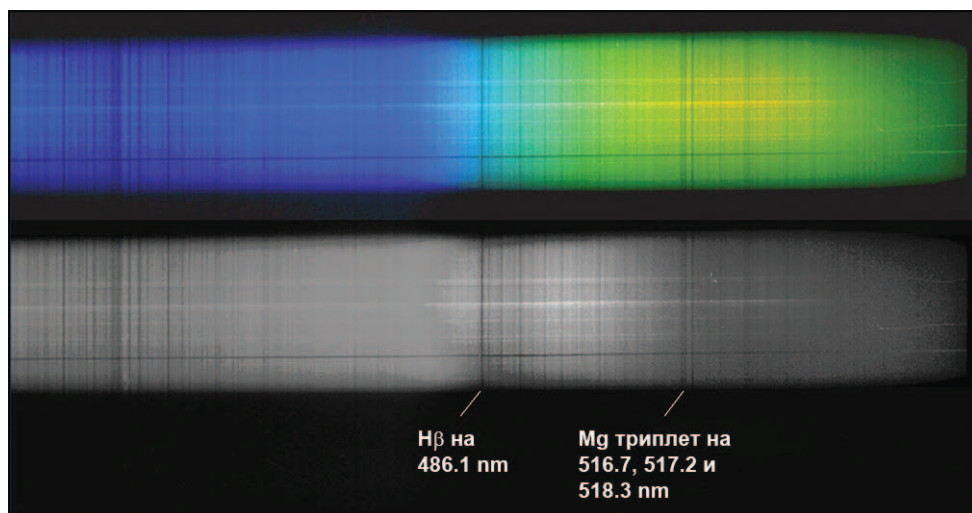
е снабден с огледален процеп, гидирането трябва да се извършва чрез отделна зрителна тръба и камера, монтирани паралелно на обектива **1**.



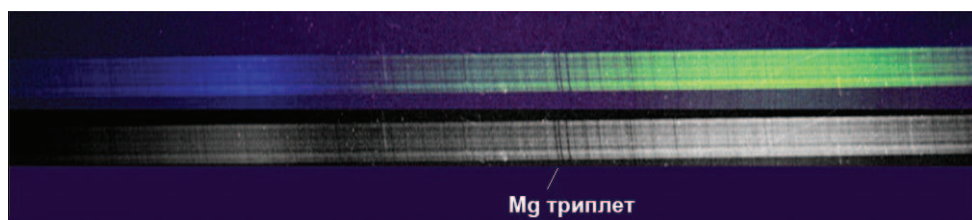
Същият спектрограф, пригоден за визуални наблюдения. Тук на мястото на фотоапарата **7** е монтирана зрителната тръба **13**, през чийто окуляр може да се наблюдава полученият спектър. Този окуляр е близо до окуляра **2** на огледално-рефлексния визьор. Така работещият може първо да наблюдава обекта, за да го „постави“ в процеп на спектрографа, а веднага след вдигането на подвижното огледало на визьора – да види спектъра на обекта в другия окуляр



Колиматорът **3** (телеобектив Revuenon 135/2.8 auto), дифракционната решетка **5** и елементите, съставляващи зрителната тръба **13** – вид отблизо



Част от слънчевия спектър, заснет при тестовите на самоделния спектрограф. Виждат се голям брой тъмни фраунхоферови линии в синята и зелената област. Отразяваща дифракционна решетка 50×50 mm, 600 линии/mm, спектър от втори порядък



Част от спектъра на звездата Арктур, α от съзвездието Воловар. Още на пръв поглед се разпознават някои от линиите, характерни и за слънчевия спектър, например магнезиевия триплет. Наклонът на спектралните линии наляво е заради допуснатата неперпендикулярност на процепа спрямо равнината, в която решетката диспергира светлината. Преди започване на работа със спектрографа е нужно да се отдели достатъчно време на всяка една негова настройка

Дисперсия и спектрална разделителна способност

Преди да изберете оптичните параметри на колиматора и на камерния обектив – техните диаметри и фокусни разстояния, трябва да сте решили за каква цел ще използвате спектрографа и каква трябва да е неговата **линейна дисперсия**. Казано с други думи – колко ангстрьома ($\text{\AA}$) ще се падат на 1 mm дължина от фотографската емулсия или на един пиксел от матрицата.

Освен от фокусното разстояние на камерния обектив, линейната дисперсия зависи и от ъгловата дисперсия на решетката (или на призмата), която можете да прецените по разликата между ъглите на отклонение на светлинни вълни с две различни дължини (т.е. за два цвята). Най-удобно е да се изберат цветове-

те в двата края на видимия спектър – вълните с дължини 750 nm от червения край и 380 nm от синьо-виолетовия. Ъгълът φ , на който една дифракционна решетка отклонява светлинна вълна с дължина λ , е

$$\varphi = \arcsin(n \times \lambda / k),$$

където **k** е константата на решетката, т.е. разстоянието между средите на две съседни линии, а **n** е порядъкът на спектъра, в който търсим ъгъла за дадената λ . При изчислението е нужно **k** и λ да бъдат в еднакви мерни единици – например в nm. Трябва по този начин да изчислите ъглите φ_1 и φ_2 за двата избрани гранични цвята и после от по-големия ъгъл да извадите по-малкия ($\varphi_1 - \varphi_2$). Така ще получите **ъгловата дисперсия** на решетката (да я означим с γ). Като знаете ъгъла γ и фокусното разстояние **f** на обектива на камерата, лесно можете да пресметнете линейната дължина **L** на спектралното изображение във фокалната равнина:

$$L = 2 \times \operatorname{tg}(\gamma / 2) \times f.$$

Така например при решетка с 300 линии/mm ще имате ъглова дисперсия между избраните гранични цветове $\gamma = 6.46^\circ$ за спектъра от първи порядък, което при камерен обектив с **f** = 135 mm ще ви даде спектрално изображение с дължина **L** във фокалната равнина 15,2 mm.

Сега следва да прецените необходимия диаметър и фокусно разстояние на колиматора. Вече казахме, че неговото отношение **f/d** трябва да е съобразено с отношението **f/d** на телескопа, към който смятате да монтирате спектрографа, но също и с размерите на самата дифракционна решетка. Ще илюстрираме това с пример:

Имаме телескоп с фокусно разстояние **f** = 1000 mm и с диаметър на обектива **d** = 250 mm, т. е. с **f/d** = 4. Разполагаме с правоъгълна дифракционна решетка с 300 линии/mm, с къса страна (т.е. височина) 25 mm. За колиматор ще ни трябва обектив с **f/d** не по-голямо като число от това на телескопа, за да се оползотвори целият светлинен поток, идващ от неговия обектив. Диаметърът на колиматора обаче трябва да бъде съизмерим с решетката, т.е. той трябва да е поне 25 mm, и при неговото отношение **f/d** = 4 получаваме нужното му фокусно разстояние: **f** = 25 × 4 = 100 mm. Така параметрите на колиматора са определени.

Успоредният сноп бяла светлина след колиматора попада в решетката и се диспергира в рамките на вече коментираният ъгъл γ . Това означава, че след решетката, разноцветните светлинни снопове са успоредни сами за себе си, но се раздалечават един от друг под известни ъгли. Диаметърът на обектива на камерата и разстоянието от него до решетката трябва да са такива, че всички разноцветни снопове да попаднат изцяло в камерата, без да имаме загуби.

Колиматорът и фокусираният на безкрайност обектив на камерата осигуряват условия за Фраунхоферова дифракция, необходима за правилната работа на спектрографа. Фраунхоферова дифракция имаме, когато върху решетка-

та попадат плоски светлинни вълни (т.е. паралелен светлинен сноп) и когато получената интерферентна картина се наблюдава на екран, отдалечен на безкрайност. В случая това е фокалната равнина на камерата, зад нейния обектив.

Спектрално изображение с дължина около 15,2 mm спокойно би се побрало върху full-frame матрица или в рамките на негатив лайка-формат (24×36 mm), но за матрица с дължина примерно 6 mm това е прекалено много. Тогава ще ви трябват по-къси спектри, каквито можете да получите просто като смените камерния обектив с по-късофокусен. При решетка със споменатите 300 линии/mm, но с нормален фотообектив с $f = 50$ mm ще имате линейна дължина на спектъра $L = 5,6$ mm, т.е. съизмерим с дължината на матрицата. При смяната на камерния обектив обаче не бива да забравяте горните съображения – при решетка със страна 25 mm и при фокусно разстояние на обектива 50 mm относителният отвор на последния трябва да бъде не 1:2 ($f/2$), както изглежда на пръв поглед, а по-голям, за да могат диспергираните под различни ъгли разноцветни снопове отново да попадат в обектива. Предвид фотографските стандарти и предлаганото на пазара ще трябва да се задоволите с нормален фотообектив 50/1,4 или поне 50/1,8. Ако тубусът на сменения обектив е по-къс, ще трябва да приближите камерата максимално до решетката, без обаче да засенчвате попадащия върху нея паралелен светлинен сноп, идващ от колиматора (ако решетката е отразяваща).

Ако знаете колко микрона са големи пикселите на матрицата, ще можете да определите често споменаваната реципрочна линейна дисперсия – колко нанометра (nm) или ангстрьома (Å) се падат на 1 пиксел. Например при дължина на спектралното изображение във фокалната равнина $L = 5,64$ mm (между граничните дължини 750 и 380 nm) и при размер на пиксела 8 μm (0.008 mm), ще имате 0,525 nm/пиксел средно (или 5,25 Å/пиксел), което е една нелоша дисперсия. Това разпределение е усреднено, тъй като спектрите, получени с дифракционна решетка, са леко нелинейни (което всъщност е по-добър вариант, защото спектрите, получени с триъгълна призма, са силно нелинейни – свити в червената си част и разтеглени в синята).

Друг важен параметър на спектрографа е неговата **спектрална разделителна способност**, наричана още спектрално разрешение, спектрална резолюция или дифракционен предел. Тези понятия не бива да се бъркат с линейната или с ъгловата дисперсия. Наистина, голямата линейна дисперсия е предпоставка за висока разделителна способност, но последната зависи още от ширината на процепа, от размерите на пикселите на матрицата, от качеството на оптичните компоненти в системата и от още някои особености. Спектралната разделителна способност **R** се дава с формулата:

$$R = \lambda / \Delta\lambda,$$

където $\Delta\lambda$ е разликата в дължините на вълните за две най-близки линии около дадена λ , които приборът е в състояние да възпроизведе като разделени. При

различни дължини λ спектралната разделителна способност може да бъде различна, например да е по-висока в синия край на спектъра и по-ниска в червения. При свиване на процепа разделителната способност на спектрографа нараства, но яркостта на спектралното изображение спада.

При използване на фотографска оптика или на други лещови обективи ще се срещнете със следния проблем: Повечето фотографски обективи и обективите на телескопите-рефрактори са ахромати, което значи, че при тях е отстранена хроматичната аберация за червените и сините лъчи, които се събират в един фокус, но спрямо тях зелените лъчи се фокусират малко по-близо зад обектива (т.нар. остатъчен хроматизъм). При обичайната употреба на такива обективи този дефект не проличава, но при използването им в схемата на спектрографа ще забележите, че не е възможно да фокусирате спектъра на някоя бляскава звезда едновременно добре по цялата му дължина. Така става ясно, че са необходими по-качествени обективи-апохромати, които, за съжаление, са и по-скъпи. Недостатъкът с нееднаквата фокусировка на целия спектър става още по-осезаем при употреба на няколко ахромата един след друг. Ако обективът на телескопа, колиматорът на спектрографа и камерният обектив са все ахромати, то техният остатъчен хроматизъм се сумира. Затова е желателно поне телескопът да е огледален – Нютон или Ричи-Кретиен, и ако е възможно, поне колиматорът или обективът на камерата да е апохромат.

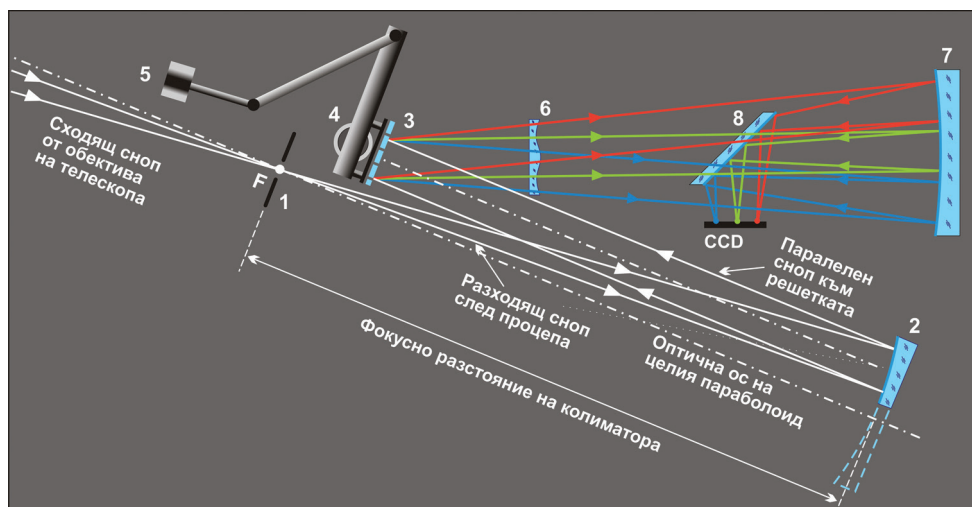
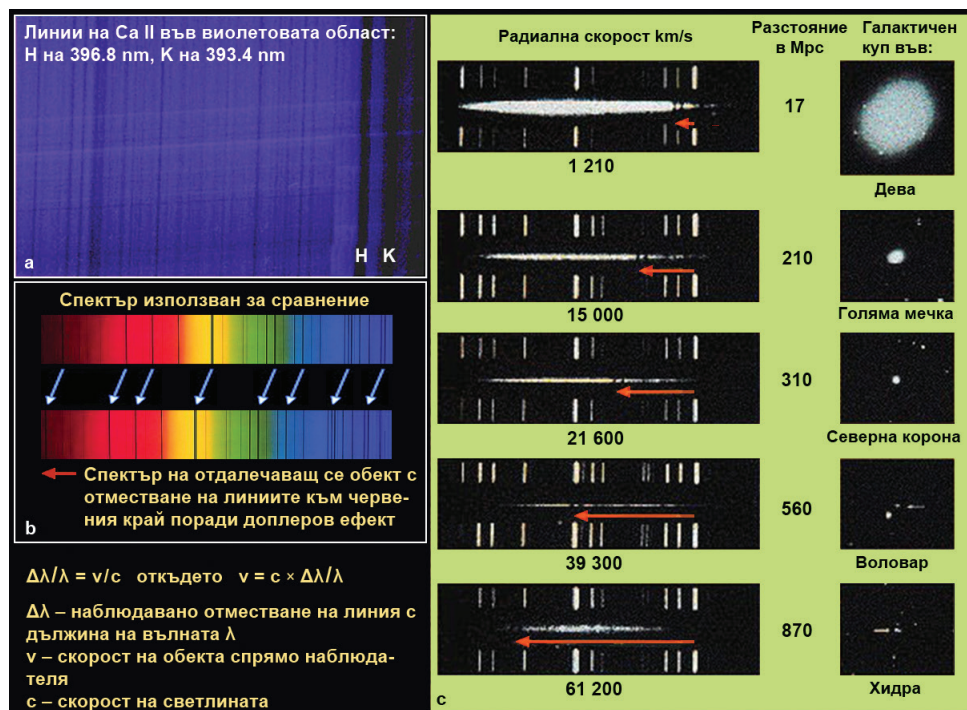


Схема на спектрограф с отразяваща дифракционна решетка и огледален външноосов колиматор

Сходящият светлинен сноп, идващ от обектива на телескопа (горе вляво извън схемата) се фокусира във фокуса **F**, който се намира в равнината на процепа **1** на спектрографа. Преминалата през процепа светлина продължава във вид на разходящ сноп към колиматора **2**, който е параболично вдлъбнато извънсово (off-axis) огледало. Колиматорът привежда светлината в паралелен сноп, в какъвто вид тя попада в отразяващата дифракционна решетка **3**. След отражението с дисперсия светлината преминава през корекционната Шмит-пластина **6** и след фокусировка от камерното сферично огледало **7** спектралното изображение се построява върху CCD матрицата. С цел камерата да не засенчва светлината между Шмит-пластината **6** и огледалото **7**, между последните е монтирано по-малко по размери плоско отклоняващо огледало **8**. Механизмът **4**, задвижван от микрометричния винт **5**, служи за избор на желана част от спектъра на обекта, чрез настройка на работния ъгъл на решетката **3**. Това се налага, ако сензорът на камерата не е достатъчно голям, за да побере цялото спектрално изображение в един кадър. Подобна оптична система има Куде-спектрографът на 2 m телескоп в НАО Рожен

За да се отстрани проблемът с остатъчния хроматизъм, както и от други съображения, професионалните спектрографи са конструирани с огледална оптика. Така например колиматорът е вдлъбнато огледало, отразяващо преминалата през процепа светлина под остър ъгъл към дифракционната решетка. За да не се получават aberации като кома и астигматизъм при това отражение, колиматорът е параболично извънсово (off-axis) огледало, т.е. има геометрия на странична част от параболоид (позиция **2** във фигурата по-горе). Ако решетката е с голяма дисперсия или фокусното разстояние на камерното огледало **7** е дълго, могат да се оглеждат в детайли само части от целия спектър на обекта. Тогава изборът на желаната област от спектъра става чрез механизъм за настройка на работния ъгъл на решетката. Изборът на работен ъгъл става чрез въртене на микрометричен винт, разграбен в градуси, в нанометри или в ангстрьоми. За любителски спектрограф с ниско разрешение обаче такава сложна механика не е нужна.

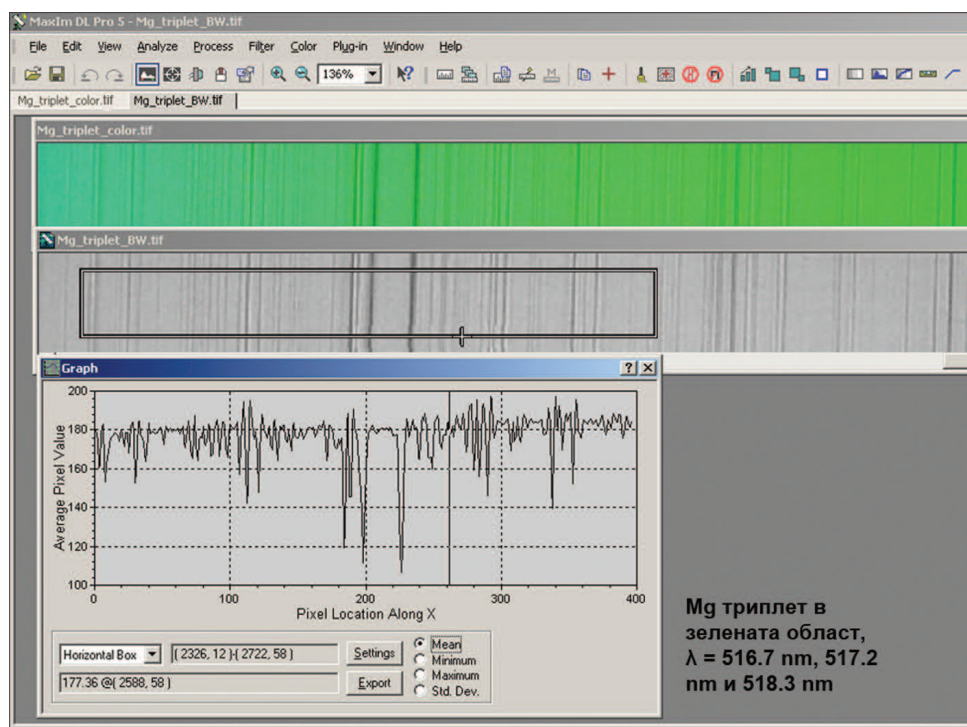
Достатъчно е да предвидите възможност за еднократна настройка и фиксиране на работния ъгъл на дифракционната решетка.



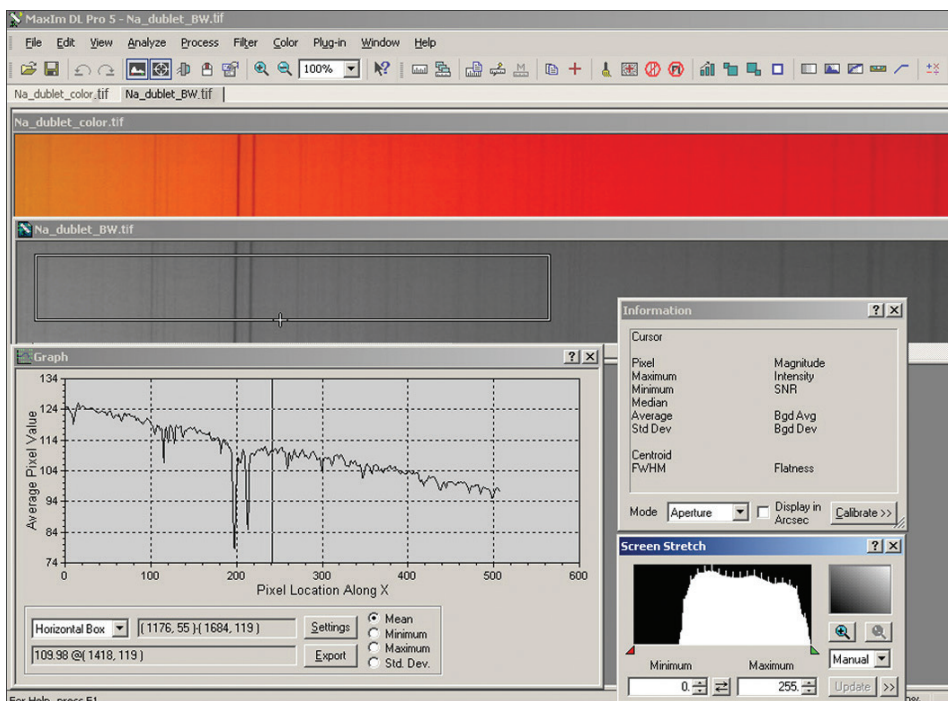
Обработка и анализ на данните – накратко

Накрая, няколко думи за по-нататъшната обработка на получените резултати. Ако работите с фотоплаки или с фотографски филми, преди всичко трябва да дигитализирате заснетите спектрални изображения, т.е. да сканирате негативите си. Тази практика обаче отмина и вече се използват цифрови приемници. За обработката на файловете ще ви е нужен специализиран софтуер, като например продукта IRAF (Image Reduction and Analysis Facility – <http://iraf.noao.edu>). Ако наистина имате сериозни намерения да използвате спектроскопски методи във вашите занимания, препоръчително е да се свържете със специалист, с когото да обменяте информация. В тази високо специализирана област съвместната работа между професионалисти и любители вече отдавна е практика в някои страни.

По-долу са дадени примери за бърз предварителен анализ на спектрални изображения с помощта на продукта MaxIm DL, който е предпочитан от много астрономи любители.

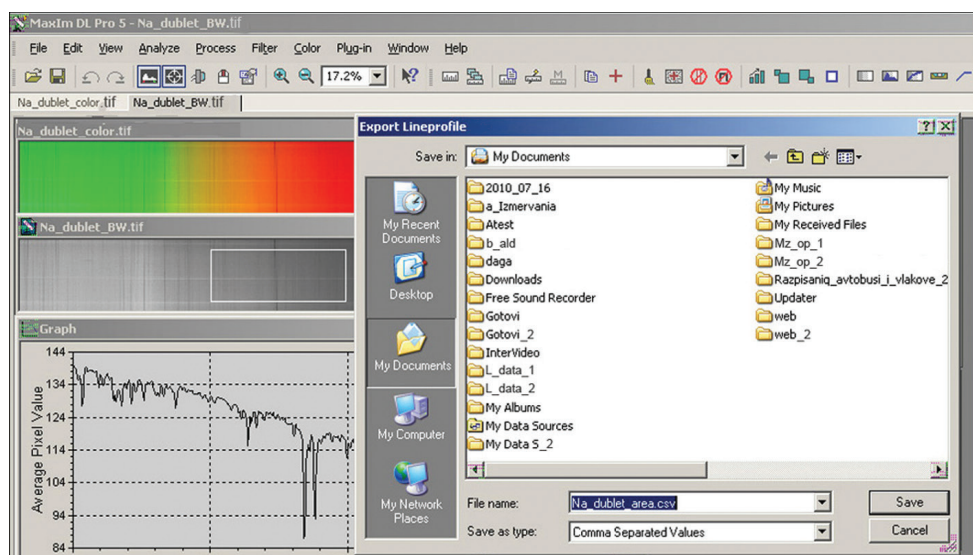


Цветно и монохромно изображение на зелената област от слънчевия спектър с линиите на магнезиевия триплет, заснети със самоделния решетъчен спектрограф на автора. Представен е профил на същата област, получен с продукта MaxIm DL v. 5.02. Линиите са тъмни на светъл фон, т.е. спектърът е абсорбиционен

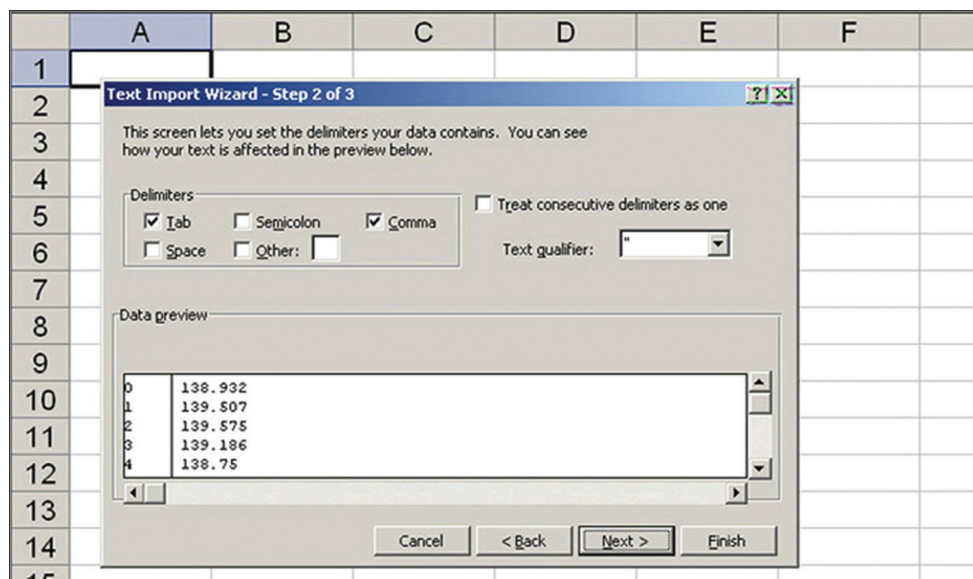


Изображения и профил на жълто-оранжевата област от слънчевия спектър с линиите на натриевия дублет. Двете близки тъмни линии са на дължини 588,99 и 589,59 nm (λ ср. = 589,29 nm). Данните от профила могат да бъдат експортирани в MS Excel или в друг софтуер, във вид на числов масив, с цел допълнителна обработка и извличане на стойностна информация за обекта. При такъв анализ интерес представляват главно положенията и интензитетът на линиите. Спектърът на обекта може софтуерно да се наложи върху спектър за сравнение (калибровъчен) – например такъв от ториево-аргонова лампа, в който положенията на линиите са известни и са описани в атласи. Такъв атлас може да бъде разгледан на адрес http://nao-rozhen.org/telescopes/pdf-s/thar_cs-atlas-390-920nm.pdf

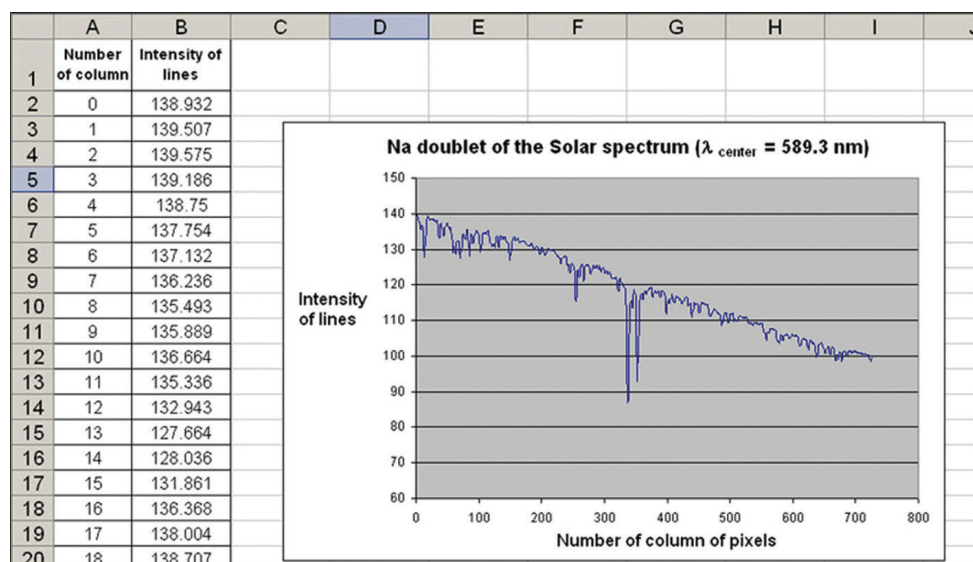
При изработката на любителски спектрограф можете да реализирате много ваши идеи, с които ще разнообразите резултатите от наблюденията си. Тук не представяме чертежи с размери и друга конкретна информация за конструкцията на прибора, просто защото последната изцяло зависи от материалите, с които разполагате. Дори е твърде вероятно по време на вашите наблюдения да се наложи да промените параметрите на оптиката. Затова целта на статията е да ви даде идеята, да ви запознае с принципа на действие на прибора, както и да ви увери, че всеки любител астроном може да постигне впечатляващи резултати в една такава задача.



Експортиране на данните от MaxIm DL в CSV файл (Comma Separated Values) за пренос към Excel или към други програми



Импортиране в MS Excel. В секцията Delimiters се указва, че данните в текстовия файл, които трябва да образуват колоните на таблицата, са разделени със запетая

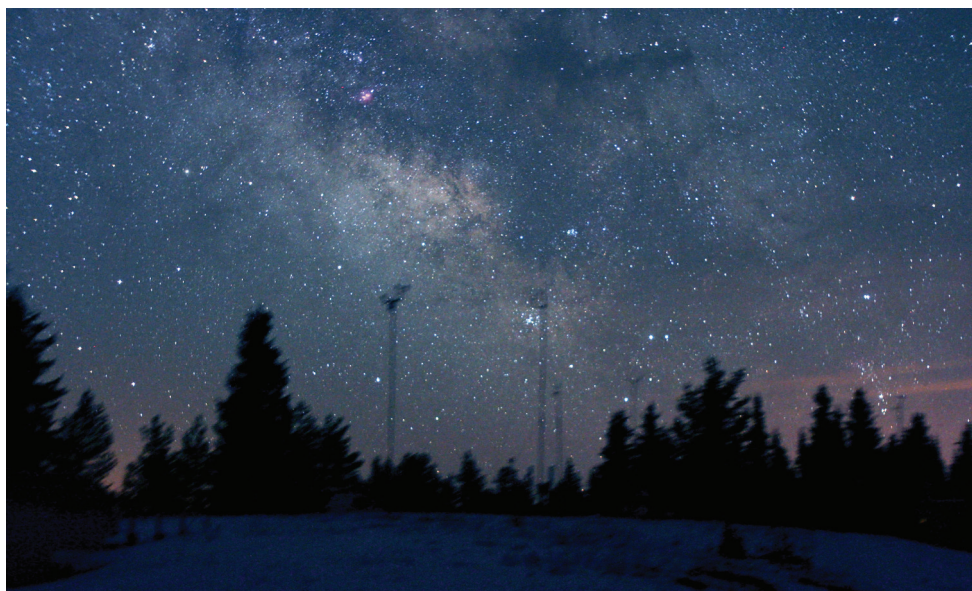


Анализ в MS Excel. Със средствата на Excel е възпроизведен същият вид на спектъра – профилът вдясно

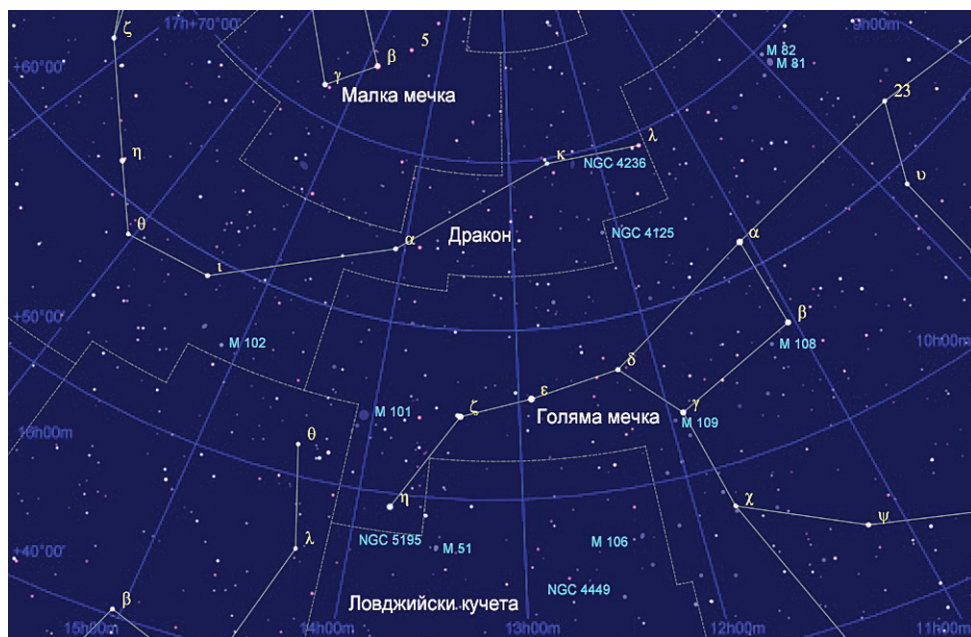
В ДЪЛБИНИТЕ НА ПРОЛЕТНОТО ЗВЕЗДНО НЕБЕ

През пролетта небето е бедно на ярки звезди, а светлата ивица на Млечния път се появява късно след полунощ на югоизток-изток и остава трудно видима до края на нощта. Затова за мнозина пролетните нощи са скучни, но точно те са най-предпочитаното време от астрономите, желаещи да наблюдават далечни галактики и галактични купове.

По-далечните галактики са видими в телескопа като бледи елипсовидни петънца и за разлика от звездните купове и газовите мъглявини, те не показват почти никакви детайли. Всяко едно такова „петънце“ обаче е огромно стълпотворение от стотици милиарди звезди, повече или по-малко подобни на нашето Слънце. Светлината от тези неизброими светове достига до нас за време поне няколко милиона години, което значи, че ние практически виждаме тяхната история.



През април Млечният път започва да се вижда над югоизточния хоризонт едва около 03 ч. след полунощ и до сутринта остава ниско в небето. Това позволява през по-голямата част от пролетните нощи удобно да се наблюдават далечни галактики и купове от галактики в съзвездията, намиращи се в посоки над галактичната равнина – Голяма мечка, Ловджийски кучета, Северна корона, Косите на Вероника (където се намира северният галактичен полюс), Дева, Лъв и др. На снимката: Млечният път в края на априлска нощ над НАО Рожен. Фотоапаратът, с който е заснет кадърът, е бил монтиран на устройство, задвижвано от часовников механизъм. Така фотообективът следи бавното движение на небето по време на дългата експозиция. Това е нужно, за да се експонират по-добре слабите звезди и облаците от светещ междузвезден газ, видими в тази част на Галактиката. По тази причина обаче обектите от близкия план – метеорологичните мачти и дърветата, са неясни. Снимка: авторът



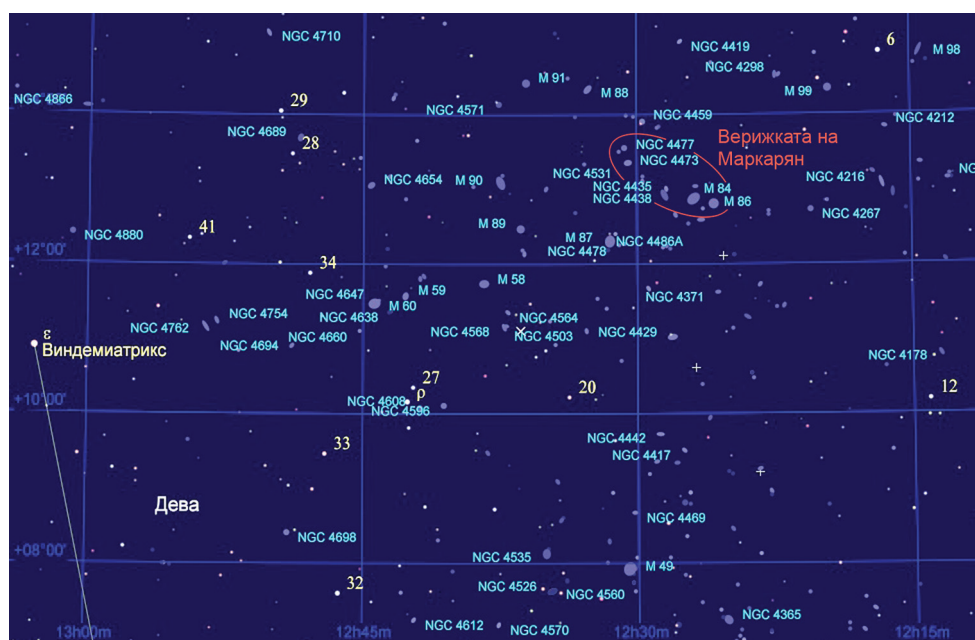
Карта с отбелязани по-ярки галактики в района на съзвездието Голяма мечка. В северозападната му част можем да наблюдаваме две ярки галактики: M81 (7,8 mag, 25') и M82 (9,1 mag, 10'). В „опашката“ на Голяма мечка и в съзвездието Ловджийски кучета могат да се наблюдават още няколко по-ярки галактики, между които M101 (8,2 mag, 29') и галактиката Водовъртеж M51 (8,9 mag, 11'). Всички те са достъпни с по-мощен бинокъл или с малък телескоп в ясна и безлунна нощ, ако наблюдателят е далеч от светлините на градовете

Някои астролюбители споделят, че насочвайки своите телескопи към далечните галактични купове, те сякаш се пренасят сред тях като с космически кораб и пътуват между галактиките им.

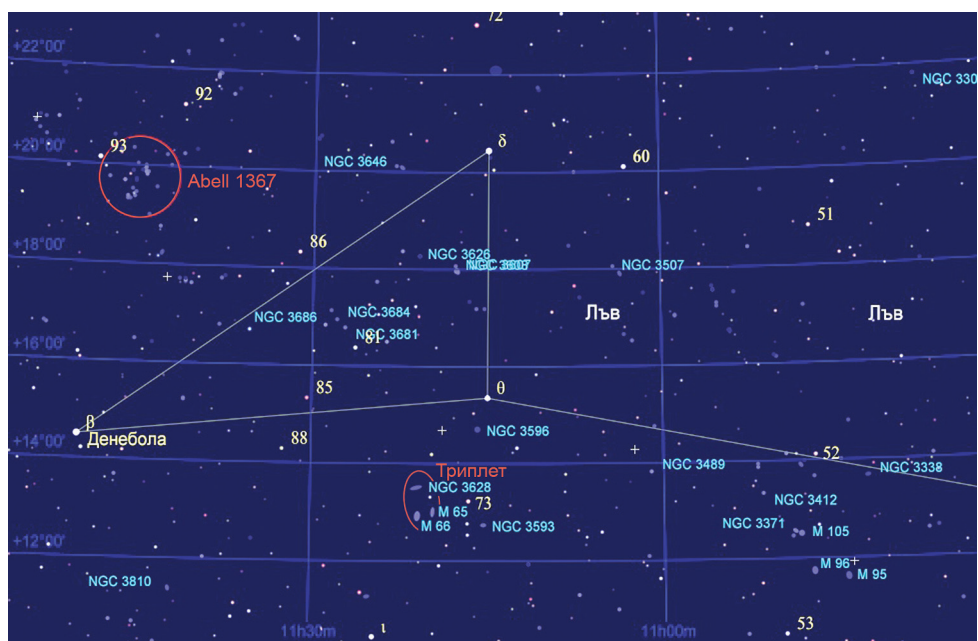
За човечеството е безспорен успех, че днес знаем много за природата на тези далечни „островни вселени“. До този успех обаче се е достигнало трудно, и то сравнително неотдавна – през 20-е години на миналия век. Разказът за това е изключително поучителен, тъй като показва как интуицията на прогресивния човешки ум, подкрепена от последвалите успехи в телескопостроенето и новите наблюдателни методи в астрономията, са позволили да узнаем за неподозираните преди това далечни простори на Вселената.

Още от времето на Галилей било известно, че звездите са разпределени неравномерно по небесната сфера и че в ивицата на Млечния път те са толкова „нагъсто“, че окото не ги разделя. Също така отдавна е забелязано, че тази млечнобяла ивица прекосява северното и южното звездно небе, като се затваря в окръжност около нас, разделяйки небесната сфера на две части. Ще оставим настрана различните вярвания за Млечния път в митологиите

на древните народи и ще започнем с първите сериозни опити за обяснение на неговата същност. Първият такъв е направен през 1750 г. от английския астроном и приборостроител Томас Райт, който в книгата си „Оригинална теория, или нова хипотеза за Вселената“ (*Original Theory or new Hypothesis of the Universe*) предлага идеята, че звездите са разположени в пространство с формата на плоско-паралелен диск с определена дебелина – своеобразен „воденичен камък“, простиращ се на огромни разстояния във всички посоки, в които виждаме ивицата на Млечния път. Тъй като нашата Слънчева система е също във вътрешността на този диск, когато гледаме по направления, лежащи в неговата плоскост, ние виждаме светлина от неизброимо много звезди, съставляващи бялата ивица. Встрани от тази плоскост небето логично е по-тъмно – по-бедно на звезди.



Карта на големия галактичен куп в съзвездие Дева, който заема област от небето с ъглов диаметър около 15° . Купът се намира западно от звездата Виндемиатрикс, ϵ Дева. По-ярки галактики в него са М 87 (9,6 mag, 7'), М 86 (9,9 mag, 9,8'), М 49 (9,3 mag, 9,8'), М 84 (10,2 mag, 6,7'), М 90 (10,2 mag, 10'), М 100 (10,1 mag, 7,5') и др. За да направите по-добър визуален оглед на купа, е желателно да използвате мощен светлосилен телескоп. Интересна формация в купа е т.нар. Верижка на Маркарян (Вениамин Маркарян, 1913–1985), формирана от галактиките М 84, М 86, галактиките „Очи“ – NGC 4438 и NGC 4435, след които верижката се извира леко при галактиката NGC 4473 и завършва с галактиката NGC 4477



Карта, показваща групи от галактики в съзвездието Лъв, от които най-достъпни за наблюдения са тези от т.нар. Триплет (Leo Triplet): M65 (9,7 mag, 9'), M66 (10,1 mag, 9') и NGC3628 (10,4 mag, 14' × 3'). Те са разположени в поле с ъглов диаметър около 40'. На около 5° северно от звездата Денебола се намира галактичният куп Abell 1367, отдалечен от нас на около 330 млн. светлинни години. Той е недостъпен за визуални наблюдения с любителски телескоп

Теорията на Райт била възприета от философа Имануел Кант, който през 1755 г. в своя труд „Всеобща естествена история и теория на небето“ предложил идеята, че другите мъглявини са също огромни струпвания от звезди и ги нарекъл „островни вселени“. Кант обаче достигал до крайности в това си схващане. Той смятал, че същото се отнася и за горещите газови мъглявини като M42 в съзвездието Орион, които са в пределите на нашата галактика. Не можем да виним никого за това – всички тогавашни представи за формата и мащабите на Млечния път и за природата на другите мъглявини са били умозрителни. Те не почивали на наблюдателни данни. Нека не забравяме, че по това време не е имало мощни телескопи, нужни за получаването на такива данни.

През 1785 г. Уилям Хершел (Sir Frederick William Herschel, 1738–1822) публикува резултати от негов опит за изследване на пространственото разположение на звездите в Галактиката със собственоръчно конструиран 47 см телескоп. За целта той последователно изследвал близо 680 неголеми области от небето, като старателно изброявал звездите, видими във всяка една област. Той смятал, че по-големият брой звезди в някои области говори

за по-далечно пространство, до което те се разпростират. Хершел продължил трудоемките си наблюдения и в резултат от над 1000 такива преброявания придобил представата, че Млечният път е с форма на плосък диск с дебелина около 5 пъти по-малка от неговия диаметър. Хершел останал с убеждението, че в центъра на този диск се намира нашата Слънчева система. Днес знаем, че тези резултати са погрешни, тъй като видимият брой на звездите в полето на телескопа не зависи само от реалния им брой в наблюдаваната част от небето, а и от т.нар. **проникваща способност** на телескопа (от диаметъра на неговия обектив). Въпреки това резултатите на Хершел са забележителни за времето си, а някои от идеите му впечатляват и днес. Той например съвсем вярно предположил, че звездите се раждат при съгъстяване на вещество в мъглявини като М42 Орион и че тези процеси продължават и досега.

Но защо било толкова трудно да се разберат формата, размерите и структурата на нашата Галактика? Защо още първите усилия в тази насока не са довели до правдоподобен резултат? Защо до ден-днешен предполагаемият брой на звездите в Млечния път варира в широките граници между 100 и 400 милиарда? За съжаление, погледът ни по направления, лежащи в плоскостта на Галактиката, е възпрепятстван от облаците от плътен междузвезден газ и прах, поради които ивицата на Млечния път изглежда неравномерно ярка и с неправилни граници. Такива облаци закриват за нас и най-ярката част на Галактиката – нейния център, намиращ се по посока на съзвездие Стрелец. Поради това се предполага, че можем да наблюдаваме едва между 0,5 и 1% от всички звезди в Млечния път. За да илюстрираме тези трудности, нека си представим, че живеем в апартамент, намиращ се в огромна жилищна сграда, като приемем още, че по някаква причина ние никога през живота си не сме напускали този апартамент. Така правим аналогия с човечеството, което от своята поява на Земята до момента не е напускало Слънчевата система, да не говорим пък за галактиката. Ние нямаме съвсем ясна представа как изглежда и колко е голяма нашата галактика, респ. нашата сграда, тъй като никога не сме я виждали отвън. За сметка на това обаче през прозорците на нашия апартамент виждаме съседните сгради в града и дори можем да ги класифицираме – къщи, жилищни кооперации и по-високи блокове. Така можем да заключим, че нашата сграда е подобна на тях. Съвсем аналогично можем да изследваме околните галактики и така стигаме до парадокса, че днес знаем повече за тях, отколкото за нашата собствена.

Имало обаче и друг проблем. Тогава далеч не всички астрономи били убедени, че тези мъглявини, които се отличавали на небето с правилната си елипсоидна форма, са далечни звездни системи, подобни на Млечния път. Такива мъглявини са близо 1/3 от всичките 103 обекта, включени в каталога на Месие, публикуван през 1781 г. (след по-късни допълнения и корекции днес

този каталог съдържа 110 обекта). За консервативно настроените едно такова отъждествяване било неприемливо или поне изглеждало като следваща възможна крачка, след като първо убедително се докаже извънгалактичната природа на тези мъглявини.

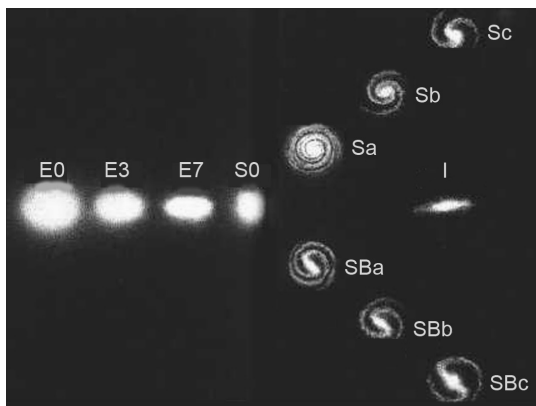
С построяването на по-мощни телескопи били направени още важни открития. През 1845 г. ирландският астроном Уилям Парсънс, известен още като лорд Рос, видял със своя 1,82 m телескоп спирална структура в мъглявината M51 в съзвездието Ловджийски кучета. Подобна структура била забелязана и в други мъглявини. Разделителната способност на телескопите станала достатъчна, за да могат да бъдат наблюдавани отделни звезди в някои по-ярки мъглявини, като M31 в съзвездието Андромеда.



Галактиката NGC891 в съзвездието Андромеда е ориентирана спрямо нас така, че зрителният лъч към нея сключва малък ъгъл с екваториалната ѝ равнина. Поради това, макар че е отдалечена на 27 млн. светлинни години от нас, ясно се забелязва ивицата от тъмна междузвездна материя, „разделяща“ галактиката видимо на две. Телескоп Orion 8" f/3.9, камера Altair Hyperscam 183M PRO TEC, сума от 30 кадъра с експозиции по 120 s всеки. Снимка: Венцислав Крумов, София

Към края на XIX в. в астрономията навлязла фотографията, която повишила многократно ефективността на наблюденията. Преди астрономите правели зарисовки на това, което виждали през окуляра, но логично рисунките били повлияни повече или по-малко от субективните възприятия и въображението

на наблюдателите. Снимките показвали спиралните мъглявини много по-ясно и с повече детайли, но все още нямало категорични доказателства, че те са далеч извън пределите на нашата звездна система. Астрономите били разделени на два лагера – привърженици на идеята за „островните вселени“ и техните опоненти, твърдящи, че спиралните мъглявини, подобно на звездните купове и газовите мъглявини, са вътре в границите на Млечния път. За тях последният представлявал цялата Вселена. Появила се нужда от метод, позволяващ надеждно измерване на разстоянията до спорните мъглявини.



„Камертонната диаграма“ на Хъбъл, с която той въвежда класификация на галактиките. Вляво е класът на елиптичните галактики с подкласове от **E0** до **E7** според тяхната сплеснатост. **S0** е класът на лещовидните галактики. Вдясно от тях започват двата клона на нормалните и на пресечените спирални галактики, разделящи се на по 3 подкласа според развитостта и дебелината на ръкавите, както и според големината на галактичното ядро. Подкласовете са съответно **Sa**, **Sb** и **Sc** за нормалните и **SBa**, **SBb** и **SBc** за пресечените спирали. Най-вдясно е класът на неправилните галактики **I**

През 1917 г. американските астрономи Джордж Ричи и Хебър Къртис открили върху фотоплаки с изображения на мъглявините M31 Андромеда и NGC6946 няколко избухнали нови*. Къртис приел, че абсолютната звездна величина (реалната светимост) на всички нови по време на максимума на тяхното избухване е приблизително еднаква и сравнил техните видими звездни величини с тези на нови, избухнали в Млечния път. По отчетената разлика той определил разстоянието до M31 на около 500 000 светлинни години (1 светлинна година е разстоянието, изминато от светлината за време 1 юлианска година, т.е. за 365 денонощия и 6 часа, при нейната скорост във вакуум 299 792,458 km/s. Това прави 9 460 730 472 580,8 km за година). Изглеждало,

* Нова е временно астрономическо явление, представляващо поява на видимо „нова“ звезда, чийто блясък след това спада за време от няколко седмици до месеци. Причината е катаклизмично събитие, случващо се в тясна двойка от взаимодействащи си звезди, в която единият компонент е бяло джудже.

че тази мъглявина била далеч извън пределите на нашата звездна система, което би следвало да разшири тогавашните представи за мащабите на Вселената. Заключение то изглеждало добре обосновано, но останал един повод за съмнение. Близко 32 години по-рано – на 19 август 1885 г., ирландският астроном любител Исак Уард бил открил новопоявила се звезда до центъра на мъглявината Андромеда. Тя била с необичайно висок видим блясък за нова в тази мъглявина – около 6 mag. Означили я като S Andromedae. Днес знаем, че тази звезда (SN 1885A) е била свръхнова – колосален взрив, наблюдаващ се при гибелта на масивна звезда, който достига яркост, съизмерима или дори по-висока от тази на цялата галактика, в която се случва събитието. Тогава обаче астрономите изобщо не допускали, че са възможни взривове с такава невероятна мощност. Ако S Andromedae бъде взета за „обикновена“ нова – като другите, наблюдавани в M31, то високата ѝ яркост водела до извода, че мъглявината е твърде близо. Това било силен аргумент в полза на противниците на идеята за „островните вселени“. Така нереченият *Голям дебат* между двата лагера се изострил. На 26 април 1920 г. в Националната академия на науките във Вашингтон бил проведен публичен диспут, в който привържениците на идеята за „островните вселени“, предвождани от Хебър Къртис, сблъскали мненията си с тези на техните опоненти, водени от друг известен американски астроном – Харлоу Шапли. В спора Къртис обърнал внимание на това, че в някои мъглявини, които той считал за отдалечени звездни системи и изглеждали ориентирани „в профил“ спрямо нас, се наблюдават тъмни ивици, видимо разделящи мъглявината на две. Къртис направил аналогия между тези ивици и облаците от поглъщаща светлината материя в Млечния път. Той засигнал и т.нар. *закон за избягването* – факта, че повечето мъглявини, считани от него за „островни вселени“, се наблюдават встрани от ивицата на Млечния път. Ако въпросните мъглявини са извън Млечния път, логично облаците от плътен междוזвезден прах в нашата галактика ще ги закриват, когато гледаме по направление на галактичната равнина. Къртис поставил въпроса защо в M31 се наблюдават повече нови, отколкото в Млечния път, и ако се приеме, че тази мъглявина е част от нашата звездна система, то по каква логика в толкова ограничена област от пространството ще избухнат повече нови, отколкото във всички останали райони на Галактиката, взети заедно. Къртис изтъкнал в своя полза и наблюдаваните от Весто Мелвин Слайфър от Лоуълската обсерватория отмествания на спектралните линии към червения или към синия край на спектрите на някои мъглявини. Един от контрааргументите на Шапли бил, че ако M31 е с диаметър, близък до този на Млечния път, който самият той определил на около 300 000 светлинни години (т.е. 3 пъти повече от днешните представи за размерите на галактиката), то би следвало мъглявината Андромеда, предвид видимите ѝ размери, да се намира на разстояние почти 10 млн. светлинни години от нас. Такова разстояние, според Шапли, въображението

отказвало да възприеме. Днес обаче знаем, че мащабите на цялата наблюдаема вселена не се побират в представите и на най-богатото въображение. Но Шапли имал и някои съвсем правилни възгледи. Той например твърдял, че Слънчевата система не е в центъра на Млечния път – както смятал Къртис, а някъде далеч от него. Това било напълно в съгласие с принципа на Коперник, че нашето положение във Вселената не е привилегировано. Днес знаем, че Слънчевата система се намира на разстояние около 26 000 светлинни години от центъра на Галактиката.



Галактиката Слънчоглед (Sunflower Galaxy – M63 или NGC 5055) е също спирална галактика от Sb-тип, намираща се в съзвездieto Ловджийски кучета. Отдалечена е от нас на 37 млн. светлинни години. Тя е с видима яркост 8,6 mag и има ъгови размери 10×6 дъгови минути, което я прави достъпна за наблюдение с неголям любителски телескоп. Детайли във внушителната ѝ плътна спирали обаче могат да бъдат забелязани само на снимки, получени с мощни телескопи. Тази галактика е открита от Пиер Мешен на 14 юни 1779 г. и по-късно Шарл Месие я добавя в своя каталог под номер 63. Снимка: Пенчо Маркишки и Даниел Чанлиев с 2m RCC телескоп на НАО Рожен



Галактиката Водовъртеж (Whirlpool Galaxy –M51a или NGC5194) е спирална галактика от Sb-тип, която си взаимодейства с по-малката галактика спътник M51b (или NGC5195, горе). Двете са отдалечени от нас на разстояние около 23 млн. светлинни години. Предвид тази дистанция и видимите ълови размери на M51 – около 11 дъгови минути, реалният диаметър на нейната спирала е близо 73 000 светлинни години. M51 е една от най-достъпните за наблюдение галактики – с яркост от 8,9 mag (видима звездна величина), тя може да се забележи дори с бинокъл в ясна безлунна нощ. Мощните телескопи разкриват множество червеникави горещи газови мъглявини в спиралните ръкави, добре видими и на тази снимка. Гравитационното смущение на галактиката спътник предизвиква колапс (свиване) на веществото в междувездната среда, което дава начало на спонтанно звездообразуване. Мощното късовълново излъчване от така родените горещи звезди възбужда водорода в мъглявините и той свети в характерния си червеникав цвят, дължащ се на спектралната му линия H α с дължина на вълната 656,28 nm. Галактиката Водовъртеж е открита от френският астроном Шарл Месие през 1774 г., който я добавя в своя каталог на мъглявинните обекти под номер 51. По-слабата галактика спътник NGC5195 (от 10,5 mag) е открита 7 години по-късно от приятеля на Месие – Пиер Мешен (Pierre Méchain).

Тези две галактики заедно с още няколко: M63, NGC5169, NGC5173, NGC5229, NGC5023, NGC5198 и др., образуват неголяма галактична група, наблюдаваща се по посока на съзвездие-то Ловджийски кучета. По-мощен любителски телескоп позволява наблюдението на няколко от тях. Снимка: Пенчо Маркишки и Даниел Чанлиев с 2m RCC телескоп на НАО Рожен

Дебатът обаче не довел до решение – различията в мненията останали. През 1921 г. в обсерваторията Маунт Уилсън до Лос Анджелис вече работел новият 2,54 m Хукър-телескоп. Той бил най-големият в света тогава и с негова помощ Едуин Хъбъл (Edwin Powell Hubble, 1889–1953) успял да различи отделни звезди в мъглявината M31 Андромеда. До края на 1924 г. той открил, че 11 от тези звезди били променливи (пулсиращи) от тип δ Цефей – т.нар. **цефеиди**. Но преди това – през 1912 г., Хенриета Левит от обсерваторията на Харвардския университет обявила откритата от нея точна зависимост между периода на изменение на блясъка при този тип звезди и абсолютната им звездна величина. Последната характеризира реалната мощност на излъчване на звездата – колко би била ярка тя, ако се намираше на приетото за стандартно разстояние 10 парсека от нас. Тези два параметъра се оказали в права пропорционалност. Периодът на пулсация на една цефеида може да бъде измерен чрез наблюдения. Той може да бъде например няколко дни за една такава звезда и няколко десетки дни – за друга. Това би значило, че втората цефеида има по-мощно излъчване и следователно нейната абсолютна звездна величина ще бъде по-висока. От измерения период на дадена цефеида може да бъде пресметната точно нейната абсолютна звездна величина и ако последната се сравни с видимата звездна величина на същата звезда, разликата между двете ще ни говори за разстоянието до нея. Ако звезда от тип δ Цефей се намира в друга галактика, то изчислявайки разстоянието до нея, ние всъщност получаваме разстоянието до тази галактика. Това било едно великолепно и надеждно решение! С новия мощен телескоп на Маунт Уилсън Хъбъл можел да наблюдава цефеиди в по-ярките спирални мъглявини и чрез тях да изчисли спорните дотогава разстояния.

Този разказ може да бъде продължен още дълго – с наблюдаваните от Хъбъл и Хюмасън червени отмествания на линиите в спектрите на галактиките и с откриването на разширението на Вселената, но може би описаните дотук събития са достатъчни, за да долови читателят поне частица от вълнението, което са изпитвали основоположниците на извънгалактичната астрономия, придобивайки първите си реални представи за мащабите на Всемира. Всеки път, когато вдигнем поглед към звездите, ние виждаме същата картина, накарала прозорливия човешки ум да започне да осмисля необятността. На фона на съвременните космологични теории нека не забравяме да тълкуваме тези първи щрихи от картината, в която чрез знания и въображение пресъздаваме нашата Вселена.

ДЕЙСТВАЩИ ПРОЕКТИ КЪМ КАТЕДРА „АСТРОНОМИЯ“ ПРЕЗ 2020 ГОДИНА

Избрани активни галактични ядра и звезди от Местната група – астрофизика във времевия домейн

Финансиращ орган: фонд „Научни изследвания“
към Министерството на образованието и науката
(Договор ДН1 8/10-11.12.2017 г.)

Проектът включва изследване на ярки и силно променливи обекти, като активни галактични ядра, нови и ярки сини променливи (LBV) звезди. Реализирането на тези изследвания ще стане главно чрез иновативни подходи и методи като например:

1) Изследване на активни галактични ядра (АГЯ), в частност отражателна картография чрез широкоивични стандартни и нестандартни средноивични филтри. Подобна задача ще бъде извършена за пръв път в световен мащаб и резултатите от нея ще бъдат приложими и към голям брой проблеми от други области на астрофизиката, като теория на гравитацията и космология.

2) Изследване на ярки сини променливи (LBV) звезди чрез метода на структурните функции.

3) Изследване на нови в галактиката M31 чрез BVR и H-alpha криви на блясъка.

4) Използване на получените за основните цели на проектното предложение кадри и за вторични задачи, като например търсене на променливи и астероиди, изследване на променливост на АГЯ и други съвременни задачи.

5) Изследване на други актуални силно променливи обекти чрез иновативни методи, като например фотополяриметрия на АГЯ.

Съществена част в подхода за постигане на изброените изследователски цели ще бъде реализирането на изцяло дистанционно управляема професионална наблюдателна система. Част от работната програма включва и допълнителни дейности, като сътрудничество с други научни групи, популяризиране на получените резултати не само пред научната общност, но и пред гражданското общество и представители на бизнеса и индустрията, с оглед на потенциален трансфер и пренос на резултатите.

**Регионален астрономически център
за изследвания и образование – РАЦИО**

Финансиращ орган: Национална пътна карта за научна инфраструктура
(2018–2022) към Министерството на образованието и науката
(Договор Д01-277/16.12.2019 г.)

Проектът РАЦИО (Регионален астрономически център за изследвания и образование) е инициатива на трите институции в България, където се провеждат професионални научни изследвания и се извършва обучение на студенти по астрономия: Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория, катедрата „Астрономия“ на Физическия факултет към Софийския университет „Св. Климент Охридски“ и Астрономическия център на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“.

Проектът е част от Националната пътна карта за научна инфраструктура на Република България и има за цел създаване на нова научна инфраструктура, базирана на нови телескопи и прилежащата им техника в НАО Рожен, САО Плана към СУ „Св. Климент Охридски“ и Астрономически център към ШУ „Епископ Константин Преславски“; поддръжка, ремонт и модернизиране на наличната и новата научна инфраструктура; осигуряване на по-добри условия за задълбочени научни изследвания в областта на астрономията; качествено професионално обучение на студенти и докторанти; връзка с международни астрономически институции; популяризиране на дейностите на РАЦИО.

Консорциум СТА-MAGIC
Международно сътрудничество
в сферата на астрофизиката на частиците

Финансиращ орган: Национална пътна карта за научна инфраструктура
(2018–2022) към Министерството на образованието и науката
(Договор Д01-153/28.08.2018 г.)

Българската част от консорциума СТА-MAGIC се състои основно от екип от учени от Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) на Българската академия на науките, които имат сериозен опит и участие в значимия астрофизичен експеримент MAGIC. Втората институция в консорциума е катедра „Астрономия“ към Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“.

Проектът е част от Националната пътна карта за научна инфраструктура на Република България и има за цел да осигури участие на българските учени в най-модерните световни астрофизични експерименти MAGIC и СТА.

Експериментите в астрофизика на частиците използват при детектирането огромни обеми от океаните или от земната кора дълбоко под повърхността, както и от атмосферата и космичното пространство. Това предполага взаимно влияние и тясно сътрудничество с науки като геофизика, океанология, науки за атмосферата, космически изследвания и др. Такива експерименти с необходимост обхващат най-новите достижения на науката и технологиите. Научната цел на експеримента е да се изследва т.нар. мистерия на Вселената – ежедневните избухвания на гама-лъчи в Космоса, откриването на нови космични източници на гама-лъчи със свръхвисоки енергии, както и изследването на известните вече такива. За да постигне тази цел, астрофизичната международна колаборация MAGIC създаде и експлоатира най-големия доскоро детектор на космични гама-лъчи в света.

Очакваният принос от страна на България са привличането, обучението и въвеждането на нови млади учени в изследванията в СТА-MAGIC, активно участие в реални експерименти в консорциума и предшестваша, едновременно и/или последваща оптични наблюдения от САО Плана.

АСТРОНОМИЯ И ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НА АСТРОНОМИЯТА

Магистърската програма „Астрономия и популяризация на астрономията“ е интердисциплинарна и предвижда както овладяването на общи знания в областта на физиката, математиката, астрофизиката и астрономията, така и умения за тяхното ефективно разпространение и представяне пред различни аудитории. Разбирането на основните идеи за строежа на света около нас, зараждането на Вселената и еволюцията ѝ, както и за еволюцията на планетите в Слънчевата система предоставя уникален поглед за света, в който живеем, и обуславя широка приложимост на усвоените знания. Учебният план е либерален и съдържа множество избираеми и малък брой задължителни дисциплини.

По тези причини завършилите програмата могат да се реализират в народни обсерватории, планетариуми, музеи, центрове и организации за популяризиране на науката и като лектори пред неспециализирана публика: астрономи, специалисти по обработка на данни, научно-технически персонал, популяризатори на науката и лектори пред неспециализирана публика.

Магистърската програма е платена, с продължителност 4 семестъра. Не се полага приеман изпит. Приемат се кандидати, завършили бакалавърска или магистърска степен (от всички специалности) със среден успех не по-нисък от „добър“, като класирането е по документи. Обучението е задочно и започва през зимния семестър. Ако при предишното си обучение студентът е положил изпити по някои от изучаваните дисциплини в равен или в по-голям обем, оценките могат да бъдат зачетени по преценка на ръководителя на магистърската програма, след съгласуване с преподавателя по съответната дисциплина.

В първите два семестъра на магистратурата са заложили задължителни курсове, съдържащи необходимите за всеки астроном базисни знания по математика, физика, метеорология и оптика, а също и основите на теоретичната и практическата астрономия. През втория семестър са предвидени два курса: теоретичен – „Комуникация на астрономията“, и изцяло практически – „Астрономически наблюдения“. През втората година от обучението в набор от изборни курсове се разглеждат историческото развитие на астрономията, съвременните ни представи за близката и далечната Вселена и практически аспекти на наблюдателната астрономия и на популярното представяне на актуални астрономически теми и открития.

Магистърската програма завършва със защита на дипломна работа, която трябва да съдържа популярно представяне на актуален астрономически проблем. Част от оценката се формира според уменията за представяне на темата пред разнородна аудитория. Повече информация може да намерите на <http://astro.phys.uni-sofia.bg>



Студенти от магистърската програма „Астрономия и популяризация на астрономията“ по време на учебен практикум в НАО Рожен, октомври 2019 г. Силуетите на работещите са неясни поради дългата експозиция, по време на която те се движат. Снимка: авторът



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

КРЪЖОК ПО АСТРОНОМИЯ

КЪМ КАТЕДРА "АСТРОНОМИЯ" НА ФИЗИЧЕСКИЯ ФАКУЛТЕТ

ПРОГРАМА

ЯНУАРИ-ЮНИ 2020
ВХОД СВОБОДЕН

30 януари 2020 г., 19:30 часа, Астрономическа обсерватория

Наблюдения с телескоп, при ясно небе

Гид на любителя астроном 2020, представяне на книгата на

Пенчо Маркишки,

оптик в ИА с НАО, БАН; катедра „Астрономия“, ФзФ, СУ

06 февруари 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Слънце и слънчева активност

доц. д-р Никола Петров,

ИА с НАО, БАН

13 февруари 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Цветовете в Космоса

Никола Каравасилев,

учител по физика и астрономия

20 февруари 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Дистанционни наблюдения на Земята от Космоса

доц. д-р Елисавета Пенева,

катедра „Метеорология и геофизика“, ФзФ, СУ

27 февруари 2020 г., 19:30 часа, Астрономическа обсерватория

Разговори за актуални астрономически открития и събития.

Наблюдения с телескоп, при ясно небе

05 март 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Физиката на градивните клетки на материята:

Лабораторията ISOLDE в CERN

д-р Динко Атанасов,

CERN

12 март 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

След Земята

чл. кор. проф. дхн Николай Денков,

Факултет по химия и фармация, СУ



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

19 март 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Метеоритите, които промениха света

Георги Пенев,

Българско метеоритно общество

26 март 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Лесно ли е да направиш звезда?

доц. д-р Тодор Велчев,

катедра „Астрономия“, ФФФ, СУ

02 април 2020 г., 19:30 часа, Астрономическа обсерватория

Разговори за актуални астрономически открития и събития.

Наблюдения с телескоп, при ясно небе

09 април 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Гравитационни лещи: Тайните очила на Вселената

гл. ас. д-р Галин Гюлчев,

катедра „Теоретична физика“, ФФФ, СУ

25 април 2020 г., 16:00 - 22:00 часа,

Астрономическа обсерватория

Ден на отворените врати на Физическия факултет

Наблюдения с телескопи, изложба, серия от кратки научно-популярни лекции

02 май 2020 г., 16:00 - 22:00 часа,

Астрономическа обсерватория

Световен ден на астрономията

Наблюдения с телескопи, изложба, серия от кратки научно-популярни лекции

21 май 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Съвременни методи за откриване и характеризиране на екзопланети

д-р Трифон Трифонов,

Институт по астрономия „Макс Планк“

04 юни 2020 г., 19:30 часа, зала A205 или A207, Физически факултет

Тайните на нощното небе в поляризирана светлина

проф. дфзн Асен Пашов,

катедра „Оптика и спектроскопия“, ФФФ, СУ

<http://astro.phys.uni-sofia.bg/meeting.html>



Кръжокът по Астрономия към Катедра Астрономия се провежда от есента на 1900 година. Негов основател е световноизвестният математик акад. Кирил Попов, първият доктор по астрономия в България.

С подкрепата на д-р Д01-157/28.08.2018 г...

Пенчо Маркишки
Гид на любителя астроном 2020

Българска
Първо издание

Редактор *Катя Пеева*

Формат 70х100/16

Печ. коли 6,5

Университетско издателство „Св. Климент Охридски“
www.unipress.bg