ПЪЛНОТО СЛЪНЧЕВО ЗАТЪМНЕНИЕ НА 12 АВГУСТ 2026 Г.: НАБЛЮДЕНИЯ, ЕКСПЕРИМЕНТИ, ПЪРВИ РЕЗУЛТАТИ

Алексей Стоев[1], Пенка Мъглова[1], Мохамед Семеида[2], Ахмед Абулвафа[2]

[1]Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
[2]Национален изследователски институт по астрономия и геофизика (NRIAG), Хелуан, Кайро, Египет
e-mail: stoev52@abv.bg

Ключови думи: *Пълно слънчево затъмнение на 12 август 2026 г., бяла и монохроматична корона, метеорологични и астрометрични параметри*

Резюме: *Тук представяме предварителните резултати от експериментите, проведени по време на пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г., с. Торкемада, провинция Паленсия, автономна област Кастилия и Леон, Испания.*

Използвайки серия от 16 снимки на бялата корона с различна експозиция (от 1/250 до 4 сек., ISO100) бе определен коефициента на Лудендорф (Flattening Index, Ɛ) – 0.035. В момента сме в слънчев цикъл 25 (25-ият от 1755 г. насам), който започна през декември 2019 г. Слънцето е преминало максимума в своята активност през октомври 2024 г., и сега е в своята низходяща фаза.

Температурата на въздуха спадна само с 1°C 56 мин след края на пълната фаза, докато слънцето залезе.

Получените изображения ни дават възможност да изследваме структурата на слънчевата корона след максимума на слънчевата активност и да я сравним с предишни наблюдения.

THE TOTAL SOLAR ECLIPSE OF AUGUST 12, 2026: OBSERVATIONS, EXPERIMENTS, AND PRELIMINARY RESULTS

Alexey Stoev[1], Penka Maglova[1], Mohamed Semeida[2], Ahmed Abulwfa[2]

[1]Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
[2]National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Helwan, Cairo, Egypt
e-mail: stoev52@abv.bg

Keywords: *Total solar eclipse on August 12, 2026, white and monochromatic corona, meteorological and astrometric parameters*

Abstract: *Here, we present the preliminary results from experiments conducted during the total solar eclipse on August 12, 2026, in the village of Torquemada, Palencia Province, Castile and León, Spain.*

Using a series of 16 images of the white-light corona taken with varying exposures (ranging from 1/250 s to 4 s, at ISO 100), the Ludendorff coefficient (Flattening Index, ε) was determined to be 0.035. We are currently in Solar Cycle 25 (the 25th cycle since 1755), which began in December 2019. The Sun reached its peak activity in October 2024 and is now in its declining phase.

Air temperature dropped by only 1°C in the 56 minutes following the end of totality, as the Sun set.

The images obtained allow us to study the structure of the solar corona following the peak of solar activity and to compare it with previous observations.

Въведение

Пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г. бе първото пълно слънчево затъмнение, видимо от Европа от 1999 г. насам (и първо за континентална Испания от 1905 г.). В България явлението може да се наблюдава само като частично слънчево затъмнение, малко преди залез Слънце от малка територия в северозападната част на страната.

Ивица на тоталитета: началото на ивицата на пълната сянка започва от Северна Русия (Якутия), преминава през Северния ледовит океан, Гренландия, Исландия, Северна Португалия и Северна Испания и завършва малко след остров Малорка, в акваторията на Средиземно море.

Продължителност на пълната фаза: Най-голяма продължителност на пълната фаза (2 минути и 18 секунди) бе регистрирана в Северния Атлантик, а в Северна Испания (около град Овиедо) пълната фаза продължи около 1 минута и 48 секунди.

Всъщност, на 12 август 2026 г. се случи нещо изключително рядко в историята на хелиофизиката – наблюдавано бе „двойно" слънчево затъмнение. Часове преди земните наблюдатели в Европа и по света да видят пълната фаза, истинската Луна пресече зрителното поле на европейския спътник PROBA-3, докато двата му субспътника вече поддържаха режим на изкуствено затъмнение. Луната покри слънчевия диск в продължение на 8 минути и 40 секунди (!), което е почти четири пъти по-дълго от максималната пълна фаза на Земята (2 мин 18 сек).

Така, европейската космическа мисия PROBA-3 на ESA изигра революционна роля в подготовката и прогнозирането на формата на короната за затъмнението на 12 август 2026 г. Какво обаче представлява космическата мисия PROBA-3? Това е първата в света космическа мисия за прецизен съвместен полет. Двата апарата летят на разстояние един от друг точно на 150 m един от друг с милиметрова точност. Те се състоят от: Апарат-окултер (Occulter): Действа като изкуствена Луна, блокирайки яркия диск на Слънцето и Апарат-коронограф (Coronagraph): Насочва коронографа ASPIICS директно към Слънцето.

Това позволява на астрономите да създадат изкуствени слънчеви затъмнения „по поръчка", продължаващи до 6 часа на орбита, избягвайки атмосферните смущения на Земята. Така бе направена предварителна прогноза за вида на слънчевата корона две седмици по-рано. И тъй като на Слънцето му отнема около 27 дни, за да направи едно пълно завъртане около оста си, изследователите използваха този уникален астрономически прозорец за предварителни снимки. На 30 юли 2026 г. (точно две седмици преди реалното затъмнение) PROBA-3 засне вътрешната слънчева корона от позиция, която съвпадаше перфектно с тази страна на Слънцето, която щеше да бъде обърната към Земята на 12 август. Получените изображения бяха предоставени на астрономите по целия свят като точна визуална картина на очакваната корона дни преди събитието.

Астрономическата Обсерватория и Планетариум „Юрий Гагарин" в Стара Загора и Института за Космически Изследвания и Технологии – БАН организираха **Наблюдателна експедиция „Пълно слънчево затъмнение 2026"** до с. Торкемада, провинция Паленсия, автономна област Кастилия и Леон, Кралство Испания – част от усилията на международен екип от специалисти от България, Франция (Институт по Астрофизика, Париж), Русия (Физически Институт „Лебедев", Москва) и Египет (Национален Изследователски Институт по Астрономия и Геофизика, Хелуан) да наблюдават интересни и важни за науката астрофизически процеси във вътрешната слънчева корона по време на пълни слънчеви затъмнения.

Научна програма:

- Фотографски наблюдения на бялата корона;
- Фотометрия на далечната слънчева корона;
- Определяне на астрометричните параметри на явлението „пълно слънчево затъмнение" на 12 август 2026 г.;
- Спектрофотометрия на емисионната слънчева корона в „червената" и „зелена" линия (Fe X 6374 Å и FeXIV 5303Å);
- Метеорологични наблюдения в конуса на лунната сянка;
- Фотометрия на небето и ореолни явления във фазовата еволюция на затъмнението.



Фиг. 1. Ивицата на тоталитета на пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г. върху територията на Кралство Испания

Ефемериди на пълното слънчево затъмнение:

Начало на частично затъмнение: 19:33:53 Local Time
Начало на пълно затъмнение 20:29:08
Максимално затъмнение 20:29:59
Край на пълно затъмнение 20:30:51
Край на частично затъмнение 21:22:35
Продължителност на пълното затъмнение (мин:сек) 1:43
Продължителност на затъмнението (ч:мин) 1:49

Наблюдателна апаратура

За наблюдение на **Слънчевата корона в бяла светлина** използваме 500 mm обектив Canon с фокален редуктор 2x, монтиран на фотоапарат Canon EOS R6 Mark II. Снимките се правят с различна експозиция – къса за вътрешната корона и дълга за външната корона. По този начин можем да получим съставно изображение и да изследваме структурата на короната в бяла светлина. С този обектив се прави и серия от фотографии, необходими за **астрометричните измервания**.

За **емисионната корона** се използва 600 mm SIGMA обектив, монтиран на камера Canon EOS 80D с тясноивичен интерференчен филтър с дължина на вълната на зелената коронална линия на Fe XIV 530,3 nm, която се отнася до 13 пъти йонизирано желязо. Неговото присъствие показва екстремни плазмени температури от приблизително 1,8 до 2 милиона Келвина. 600 mm Canon обектив, монтиран на камера Canon EOS R8 с тясноивичен интерференчен филтър, се използва за наблюдение на червената коронална линия на 9 пъти йонизирано желязо Fe X 637,4 nm. Тази спектрална линия доказва, че външната атмосфера на Слънцето достига екстремни температури от приблизително 1 милион Келвина.

Обективът за цялото небе **(All sky camera**) е SAMYANG 12 mm, монтиран на фотоапарат Canon EOS 700 D – използва се за заснемане на изображение на 360-градусовия ореол около сянката на луната на хоризонта, по време на пълното слънчево затъмнение.

Осветеността в луксове (lx) се измерва с ILLUMINANCE METER UNI-T, UT381A.

Визуални астрометрични наблюдения – Хронометрирането на покриването и откриването на слънчевите петна по време на частичните фази на затъмнението се извършва чрез визуални наблюдения с телескоп CELESTRON ULTIMA 100/1000 mm и слънчев филтър Orion. Целта е точното определяне на взаимното положение на центровете на Слънцето и Луната, необходимо за уточняване орбитата на Луната.

Температурата и влажността на въздуха по време на затъмнението се измерват с термо-хигрометър DC 103 на височина 1 m и 2 m.

Основни наблюдателни резултати

Фотографските наблюдения на бялата корона са едни от най-важните наблюдателни експерименти, осъществени по време на експедицията. Изображенията на бялата корона, обработени с компютър ни позволяват да различим малко-мащабни структури, контрастът между които е много малък и се губи при стандартни експозиции (Koutchmy et al., 1988, Druckmüller et al., 2006). По-късната им обработка позволява да се направи детайлна снимка на вътрешната и външна корона полета (Pasachoff, 2018), както и да се определи сплеснатостта на слънчевата корона и коефициента на свързаност с актуалния 25-ти слънчев цикъл. Човешкото око и стандартните камери не могат да уловят едновременно огромния динамичен диапазон на интензитета на слънчевата корона – от изключително ярката вътрешна корона (близо до повърхността) до невероятно бледите структури във външната слънчева корона.

Както е известно, ексцентрицитетът на слънчевата корона (определяща доколко формата ѝ се отклонява от идеалния кръг към елипса) зависи пряко от фазата на 11-годишния цикъл на слънчевата активност (Stoeva et al., 2008, Stoeva et al., 2011, Stoeva and Stoev, 2018). По време на затъмнението на 12 август 2026 г., Слънцето бе в период, отстоящ малко повече от година след максимума на 25-я цикъл. Специфичният цифров индекс на ексцентрицитета бе изчислен чрез анализ на фотометричните данни на т. н. „бяла" корона. Макар и с изразена кръгова форма, на съставните фотографии отчетливо се вижда сложната структура на короната, изпълнена с огромни магнитни примки, динамични протуберанси и сложни лъчисти структури, излизащи под всякакви ъгли по целия слънчев лимб.

Специфичният цифров индекс на ексцентриситета се изчислява класически чрез анализ на фотометричните данни. Математическата формула за определяне на сплеснатостта на слънчевата корона е предложена от германския астроном Ханс Лудендорф (Ludendorff, 1928) през 1928 г. и остава златен стандарт в класическата астрофизика за количествено описание на

формата на короната. Лудендорф въвежда индекс на сплеснатост, означен с Ɛ, който отразява как се променя формата на короната на различно разстояние от центъра на Слънцето. Използвайки серия от 16 снимки на слънчевата корона с различна експозиция (от 1/250 до 4 сек, ISO100) бе определен индексът на сплеснатост (Flattening Index, (Ɛ)) на короната на 12 август – 0.035. Това означава, че геометрично короната е почти идеална сфера, като разликата между екваториалния и полярния ѝ диаметър е близка до нула. Това предопределя, короната да има сравнително симетрична форма и структура, разперена във всички (Фиг. 2 а, б).



Фиг. 2 а, б. Фотография на слънчевата корона в бяла светлина (а)
и съставно изображение на слънчевата корона (16 фотографии с експозиции от 1/500 до 4 сек), ISO100 (б)

Сравнителен анализ на формата на короната с прогнозни изображения от Predictive Science Inc., PSI

Прогноза от Predictive Science Inc. (PSI): Черно-белите симулации на магнитохидродинамичните модели от очертават линиите на еднакъв интензитет, потвърждават изключително ниския индекс на сплеснатост на Лудендорф за 2026 г. Изображението, представено на фиг. 3 показва прогноза за това какво можем да очакваме да видим по време на пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г. Това разкрива слабата външна атмосфера на Слънцето, която се вижда тук под формата на бели ивици, радиално излизащи от центъра навън (Фиг. 3).



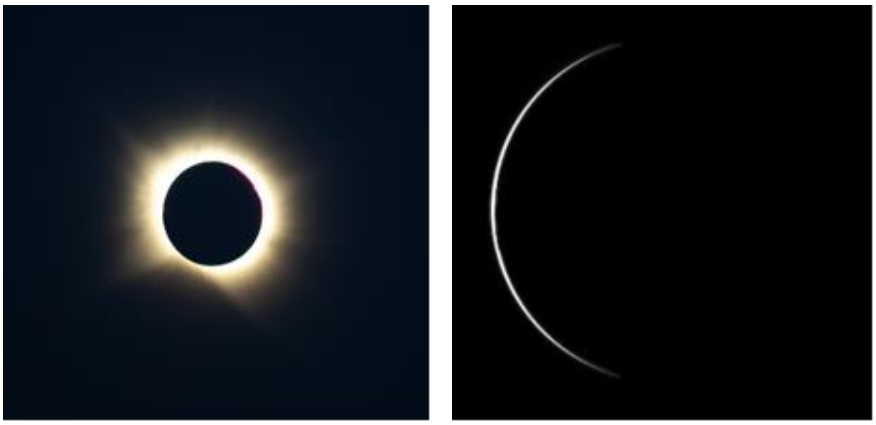
Фиг. 3. Прогноза на вида на слънчевата корона на компанията Predictive Science Inc.,
направена на 9 август за предстоящото на 12 август затъмнение.

В горния десен ъгъл е посочен моментът на последната актуализация на прогнозата: 9 август 2026 г. в 22:00 ч. UTC.

По време на пълната фаза се разкриват структури в короната, оформени от магнитното поле на Слънцето. Това означава, че слънчевите затъмнения предоставят рядка възможност да се провери дали компютърните симулации точно отразяват променливата магнитна среда на Слънцето. За да изготви подобна прогноза, компанията Predictive Science Inc. използва сложен компютърен модел на слънчевото магнитно поле. Сред многобройните входни данни за този модел са измервания, направени от мисията Solar Orbiter, ръководена от Европейската космическа агенция (ESA). Прогнозите се актуализират на всеки няколко часа въз основа на най-новите налични измервания.

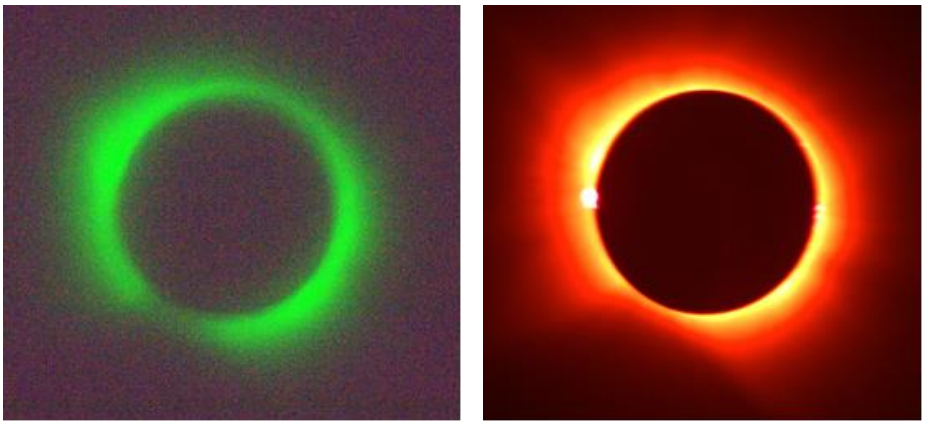
Астрометрични наблюдения

Получена е серия от фотографии, фиксирани във времето, на частичните фази, 10 сек преди началото на пълната фаза. На фиг.4 се вижда една от тези фотографии. По-късната обработка на изображенията ще ни даде възможност да получим точният геометричен център на Лунния диск, което е необходимо за определяне на числените коефициенти на диференциалните уравнения, описващи движението на Луната.



Фиг. 4. Снимка на слънчевата корона в бяла светлина (фотометрична програма) и момента на затъмнението 5 сек преди началото на пълната фаза (основен резултат от астрометрична програма)

Наблюдение на емисионната слънчева корона в „зелената" и „червена" линия (FeXIV 5303Å и Fe X 6374 Å)



Фиг. 5. Емисионната слънчева корона в „зелената" и „червена" линия (FeXIV 5303Å и Fe X 6374 Å)

Емисионните линии в короната на Слънцето се наблюдават с цел измерване на температурното разпределение, енергийното съдържание и динамиката на слънчевата атмосфера.

Структурата на „зелената" и „червена" линия са различни, тъй като се дължат на различни процеси. И двете линии следват 11-годишния слънчев цикъл. При **слънчев минимум** глобалното магнитно поле на Слънцето е дипол. При липсата на значителни активни области или сложни магнитни полета, които да нагряват плазмата, зелената линия става изключително слаба и изтеглените структури в короната се движат от средни ширини към екватора, докато светенето в червената линия се ограничава в екваториалната област. При **слънчев максимум** магнитното поле става хаотично. Това поражда магнитни примки и слънчеви изригвания. Тази екстремна магнитна активност интензивно нагрява големи обеми от короната, което води до рязко повишаване на йонизацията и съответно интензитета на зелената линия (13 кратно йонизирано желязо). Структурите на зелената корона се движат към полюса и го достигат точно по време на максимум, когато глобалното магнитно поле сменя полярността си – белег за пика в слънчевата активност (Voulgaris et al., 2010).

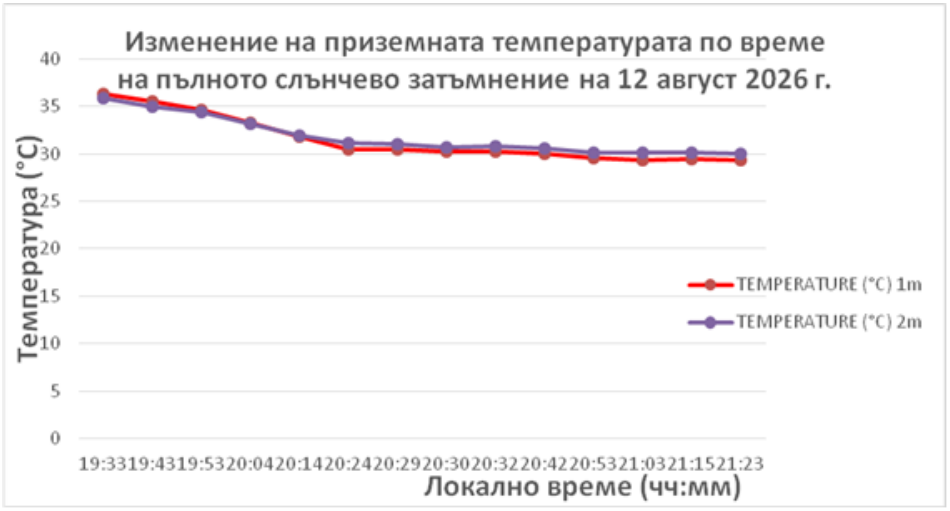
Сравняването на червената и зелена линия дава карта на разпределение на температурата в короната (гореща - зелена линия спрямо по-хладната червена). Това дава по-подробна, триизмерна картина за хода на слънчевия цикъл, отколкото преброяването на слънчевите петна.

Метеорологични наблюдения в конуса на лунната сянка

По време на пълната фаза на слънчевото затъмнение на 12 август 2026 г., **температурите на въздуха в приземния слой** се очакваше да спадат средно с 2,8°C до 6,8°C в зависимост от локалните условия, облачността и влажността. По принцип, внезапното спиране на слънчевата радиация по време на пълната фаза води до бързо охлаждане на повърхността и най-ниските слоеве на атмосферата. Рязкото спадане на температурата води до промяна в посоката или скоростта на приземния вятър поради нарушаване на термичната конвекция. Локални разлики: най-силен температурен спад се наблюдава в райони с ясно небе и суша, докато във влажни или крайбрежни зони промяната е по-малко изразена (Stoev, Stoeva, Kuzin, 2012) По време на затъмнението, поради това, че явлението се случи преди залез слънце, бяха наблюдавани следните термични данни:

Понижение на температурата – температурата на въздуха падна само с 1°C 56 мин след края на пълната фаза, докато слънцето залезе. Обикновено температурата достига минимум няколко минути след пълната фаза и след това отново се повишава, но тук не наблюдаваме повишение тъй като затъмнението е по време на залеза на Слънцето. На територията на наблюдателната площадка бе регистрирана постоянна влажност на двуметровия приземен слой – 20%.

Атмосферни ефекти – слабото охлаждането на въздуха по време на пълната фаза на затъмнението стабилизира граничния слой на тропосферата, което доведе до затихване на приземния вятър, без при това да доведе до повишаване на относителната влажност. Ниските купести облаци (Cumulus) които се появиха частично на хоризонта се разсеяха още когато Луната покри 15% от Слънцето, което е свързано с изстиването на земята – процес който спира да подхранва облакообразуването.



Фиг. 6. Температурен режим на двуметровия приземен слой атмосфера по време на пълната фаза на слънчевото затъмнение

Осветеност на небето. Ореолни явления и свързани оптични ефекти

По време на пълното слънчево затъмнение осветеността на небето и околната среда намаля рязко, но не достигна абсолютната тъмнина на нощта.

Степен на притъмняване: Осветеността намаля с няколко порядъка (до нива, сравними с дълбок здрач или малко след слънчев залез.

Хоризонтът: В центъра на лунната сянка (където бе позиционирана наблюдателната площадка) небето изглеждаше тъмно синьо до черно в областта около Слънцето, но ниският хоризонт във всички посоки остана оцветен в жълто-оранжеви или червени нюанси (като при залез), защото светлината там попадаше от незасегнати от сянката области извън обхвата на лунния конус.

Звезди и планети: По време на пълната фаза на небето станаха видими най-ярките звезди и планети (Венера, Юпитер, както и ярки звезди в близост до затъмненото Слънце).

Измерване на осветеността на небето в луксове – чрез този метод бе измерено общото количество видима светлина, което достига до земната повърхност в дадена точка. Той показа колко точно „притъмнява“ небето по време на пълната фаза на затъмнението.

Инструменти: луксметър със специализирано приложение, използващ вградения сензор за светлина – 2 бр.

Единица мярка: lx.

Проследени бяха светлинните криви по време на затъмнението в две зони – зенит и хоризонт (около подслънчевата точка). Зрителния ъгъл на луксметрите бе ограничена до окръжност от небето с размер 20 дъгови градуса (виж Фиг. 7).



Фиг. 7. Промяна на осветеността на небето по време на фазовата еволюция на пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г.

Благодарности

Бихме искали да изкажем специални благодарности на Димитър Стоев, Мина Стоева, Боряна Тодорова, Филип Спасов, София Спасова, Александра Стоева, Калина Спасова и Доналд Нелсон за участието в организацията на експедицията за наблюдение на пълното слънчево затъмнение на 12 август 2026 г. в Торкемада и провеждането на експериментите.

Литература:

1. Koutchmy, O., Koutchmy, S., Nitschelm, C. H., Sýkora, J., and Smartt, R.N. “Image processing of coronal pictures,” in Solar and Stellar Coronal Structure and Dynamics; A Festschrift in Honor of Dr. John, W. Evans, eds R. C. Altrock (Nat. Solar Observatory/Sacramento Peak, Sunspot, N. M.),1988, pp. 256–266.US patent 5876348 Blood pressure monitoring apparatus, Yoshihiro Sugo, Takeshi Sohma, Hiromitsu Kasuya, Rie Tanaka, Tokyo, Japan.
2. Druckmüller,M., Rušin, V., and Minarovjech,M. A new numerical method of total solar eclipse photography processing. Contr. Astron. Obs. Skalnaté leso 36, 2006, pp. 131–148.
3. Pasachoff, J. M. Science at the Great American Eclipse. Astron. Geophys. Roy. Astron. Soc. 59, 4.19–4.23. doi: 10.1093/astrogeo/aty191, 2018.
4. Stoeva, P., A. Stoev, S. Kuzin, Y. Shopov, N. Kiskinova, N. Stoyanov, A. Pertsov,” Investigation of the white light coronal structure during the total solar eclipse on March 29, 2006”, International Symposium on Recent Observations and Simulations of the Sun-Earth System, Varna, Bulgaria, 17 – 22 September 2006, doi:10.1016/j.jastp.2007.08.051, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics v. 70, 2008, pp. 414–419.
5. Stoeva, P., A. Stoev, S. Kuzin, “White light corona at different phases of the solar cycle”, Sun and Geosphere, 6(1), ISSN 1819-0839, 2011, pp. 33–35.
6. Stoeva Penka, Alexey Stoev, Sergey Kusin, Beshir Marzouk, Andrey Pertsov, Mohamed Semeida, 2018, Structure and dynamics of the solar corona observed during different phases of the solar cycle, 41st Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", March 12-16, 2018 , Apatity, Russia, Proceedings of the 41st Annul Seminar, http://pgia.ru/seminar, pp. 69–75.
7. Ludendorff, H., Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math. Kl., 16, 1928, 185.
8. Voulgaris, A., Athanasiadis, T., Seiradakis, J.H. et al., A comparison of the red and green coronal line intensities at the 29 march 2006 and the 1 august 2008 total solar eclipses: considerations of the temperature of the solar corona, Sol Phys (2010) 264: 45. https://doi.org/10.1007/s11207-010-9575-7.
9. Stoev A., Stoeva P., Kuzin S.,Total Solar Eclipses and Atmospheric Boundary Layer Response, Sun and Geosphere, The International Journal of Research and Applications,Vol.7 - No.1 – 2012, pp. 103–107, Editor-in-Chief: Atila Ozguc, Guest Editors: Katya Georgieva, Vladimir Obridko, Georgeta Maris, Tamara Breus, Rositza Koleva, Yurdanur Tulunay, ISSN: 1819-0839.