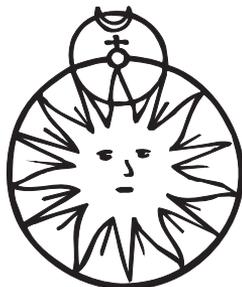


Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii

Polish Amateur Astronomers Society



E PUR SI MUOVE

THE ASTRONOMICAL REPORTS

VOL. IX

Kraków 2019

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej publikacji nie może być reprodukowana w żadnej formie ani żadną metodą bez pisemnej zgody wydawcy

Copyright © 2019 by Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii

Zespół Redakcyjny/Editorial Board

Tomasz Ściężor redaktor naczelny/editor-in-chief
Marek Kubala zastępca redaktora naczelnego/deputy editor-in-chief
Agnieszka Nowak sekretarz redakcji/editorial secretary
Waldemar Ogłóza
Arkadiusz Olech
Sławomir Stachniewicz

Recenzenci/Reviewers

Roman Schreiber, Polish Academy of Science, Poland
Tomasz Ściężor, Cracow University of Technology, Poland
Marek Zawilski, Łódź University of Technology, Poland
Krzysztof Ziolkowski, Polish Academy of Science, Poland
Stanisław Zoła, Jagiellonian University, Poland

Redaktor techniczny/Technical editor

Marek Kubala

ISSN 0208-9416

Wydawca/Publisher

Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii
ul. Miodowa 13a/35, 31-055 Kraków

The Astronomical Reports

Pismo jest skierowane przede wszystkim do młodych naukowców (w tym magistrantów i doktorantów astronomii i dziedzin pokrewnych), a także tych miłośników astronomii, którzy wykonują samodzielne obserwacje o charakterze naukowym.

Głównym celem pisma jest umożliwienie młodym naukowcom i miłośnikom astronomii nabrania doświadczenia w prezentacji własnych osiągnięć w tej dziedzinie. Publikowane są również prace doświadczonych miłośników astronomii i astronomów zawodowych, pragnących podzielić się swoją wiedzą z szerszym kręgiem zainteresowanych.

Warunki publikacji

Warunkiem publikacji jest przedstawienie pracy własnej (raportu z obserwacji, opracowania obserwacji lub pracy teoretycznej) Autora lub zespołu, w pracach którego Autor bierze udział.

Język publikacji jest dowolny – pożądane jest zamieszczenie streszczenia (abstract) oraz słów kluczowych (key words) w języku angielskim. Wskazana jest publikacja w języku angielskim, gdyż takie prace są chętniej czytane i częściej cytowane.

Prace zakwalifikowane jako artykuły będą recenzowane.

Publikacje w biuletynie są bezpłatne, a każdy Autor otrzymuje jeden egzemplarz autorski.

Uwagi techniczne

Prace należy przysyłać w formie elektronicznej, w jak najprostszej formie: czysty tekst, w dowolnym popularnym edytorze tekstowym. Grafikę należy przysyłać w osobnych plikach najlepiej w postaci wektorowej (formaty PS, EPS, PDF lub w popularnych programach tworzenia grafiki wektorowej). W przypadku map bitowych należy uwzględnić fakt, że maksymalna szerokość kolumny tekstowej wynosi 126 mm, a minimalna rozdzielczość winna wynosić 300 dpi dla grafiki czarno-białej i 150 dpi dla grafiki w odcieniach szarości (nie przewidujemy druku kolorowego).

Jeśli to możliwe, Autorzy są proszeni o dołączenie do nadsyłanych materiałów makiety pracy w postaci pliku w formacie PDF, celem uniknięcia pomyłek w składzie. Oczywiście przed publikacją przewidywana jest korekta autorska już złożonego tekstu publikacji.

Materiały należy przysyłać na adres TAR@vistula.pk.edu.pl

Cykl wydawniczy

Przewidywane jest wydawanie przynajmniej jednego numeru w roku kalendarzowym, jednak w przypadku większego zainteresowania Autorów cykl wydawniczy może zostać skrócony.

Biuletyn będzie rozsyłany do wszystkich polskich ośrodków naukowych zajmujących się astronomią, a także publikowany w ogólnodostępnej postaci elektronicznej w Internecie.

Spis treści/Contents

RAPORTY/REPORTS

Wojciech BURZYŃSKI, Marek ZAWILSKI

*Report of the Section of Observation of Positions and Occultations
of the Polish Amateur Astronomical Society for the year 2018.....* 3

Mikołaj SABAT

Comets Observed from Poland in 2018..... 21

Gabriel MURAWSKI

The discovery of eleven nova-like VY Scl type stars..... 33

Agnieszka NOWAK, Marek SUBSTYK

Całkowite zaćmienie Słońca, 21 sierpnia 2017 roku, Wyoming, USA..... 45

ARTYKUŁY/ARTICLES

Ireneusz WŁODARCZYK

Analysis of the orbit of the Apollo asteroid (3200) Phaethon..... 49

Agata CHUCHRA

Kriowulkanizm i tektonizm na Europie i Enceladusie..... 55

Wojciech BURZYŃSKI¹, Marek ZAWILSKI²

¹ PTMA Branch of Białystok, Faculty of Physics, University of Białystok, ul. Ciołkowskiego 1L, 15-285 Białystok, bialystok@ptma.pl

² PTMA Branch of Łódź, ul. Pomorska 16a, 91-416 Łódź, lodz@ptma.pl

Report of the Section of Observation of Positions and Occultations of the Polish Amateur Astronomical Society for the year 2018

Introduction

The year 2018 was a quite exceptional for observers of Section of Observation of Positions and Occultations of the Polish Amateur Astronomers Society (pol. SOPiZ PTMA). During the year several SOPiZ (or otherwise said 'national') records were beaten: 1) the largest number of grazing occultations events recorded in a year; 2) the largest number of total lunar occultations recorded during one night; 3) observation of the faintest graze lunar occultation observed in Poland.

Furthermore, observers of the Section have recorded such rare phenomena as the star occultation by irregular Jovian moon (P5M06) Himalia, the discovery of a new double star by the occultation method and the possible discovery of an asteroid's satellite.

Total lunar occultations

The year 2018 was primarily the end of a 3-years series of Aldebaran (α Tauri) lunar occultations that could be observed from the Earth. Aldebaran occultation series are separated by 18.6 years which is the duration of the Moon's nodal cycle. The 'Eye of the Bull' lunar occultation will not happen again on the Earth until 2033. The next Aldebaran lunar occultation visible from Poland will happen on Jan 29th 2034.

Meanwhile, on Feb 23rd, we were watching the last such phenomenon visible in Poland in the near future.



Fig. 1. The Aldebaran just few seconds before the occultation by the Moon, taken at Łódź by Marek Zawilski on Feb 23rd 2018.

Faint stars occultation

On April 20 2018, the young 26% sunlit Moon passed through the dense star field of Milky Way in the constellation of Orion. It was a good opportunity to test both occultation software and equipment by Wojciech Burzyński.

The coordinates of the station: Lat. $53^{\circ}12'31.2''N$, Long. $23^{\circ}31'37.7''E$ in the WGS-84 datum.

65 lunar occultations have been recorded in total in one night by single observer! This is probably a national record.

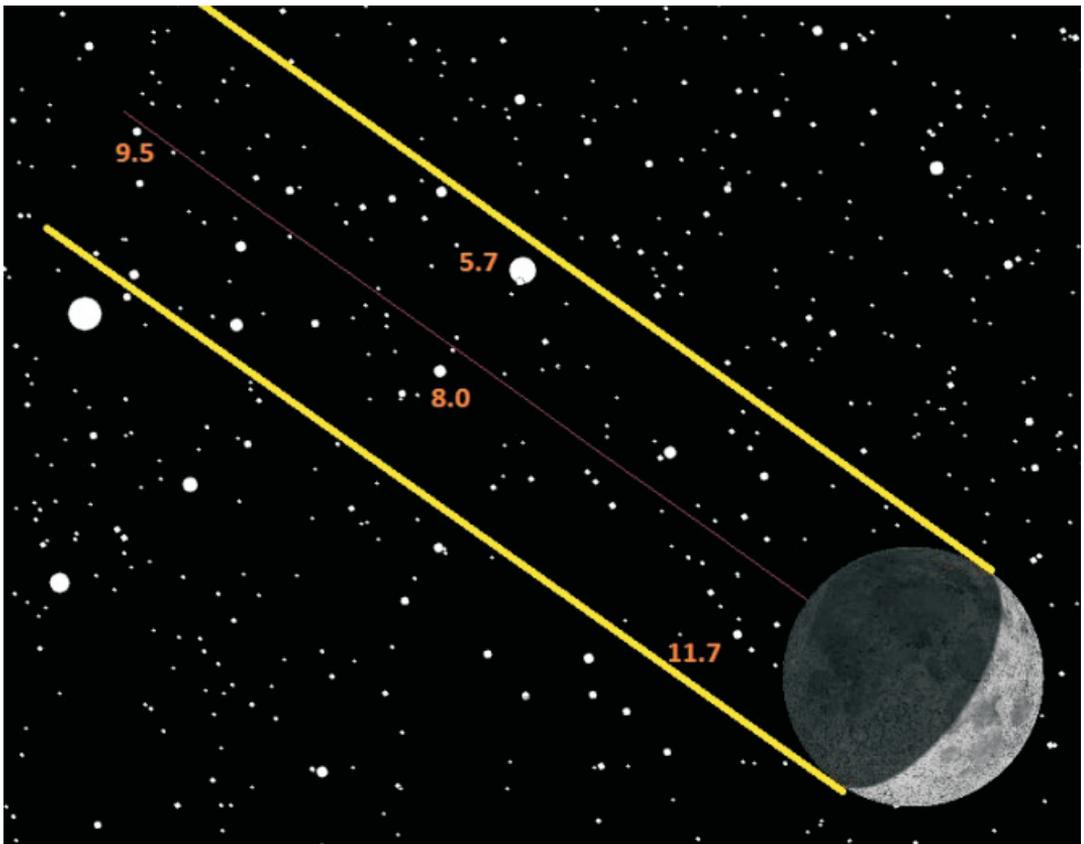


Fig. 2. The sky area covered by the Moon lies between yellow lines showing Moon's position during observation time (18:30–21:50 UT).

The setup and software:

- Sky-Watcher ‘Star Discovery’ 150/750 mm ALT-AZ & GOTO mount;
- ‘TomaszTech’ Video Time Inserter for analogue cameras, 1pps GPS;
- NOVUS NVC GDN5811C-2 integrating camera, sensitivity 0.00002 lx;
- DELL 3540 i5 laptop with 8 GB of RAM and 128 GB SSD disk drive;
- prediction software: Occult 4.5 and LOW 4.1;
- recording software: Virtualdub v. 1.10.4;
- evaluation software: Tangra v. 3.6.

Results and remarks:

- hard to make light curves (LCs) for stars fainter than 9.5 mag;
- only 10 LCs clearly readable;
- average magnitude of occulted star: 10.0 mag;
- 32 timings with 0.02–0.04 sec. accuracy (stars brighter than 10.3 mag);
- 20 timings with 0.1–0.5 sec. accuracy;
- 7 timings with 1 sec. accuracy;

- 6 timings absolutely unreadable;
- occultation of a 8.94 mag star was observed at low altitude of 6.9°;
- the assembly can reach 12.5 mag stars being occulted by the crescent Moon;
- some stars had no ephemeris in both the Occult and LOW software.

Tab. 1. Faint stars occultations results obtained in one night of Apr 20th 2018.

No.	STAR	MAG	Eph Occult	Eph LOW	Time UT
1	XZ 83308	10.87	18:31:54.1	18:31:55	18:31:54.24
2	XZ 83372	10.15	18:33:41.4	18:33:40	18:33:41.49
3	XZ 83313	11.73	no eph.	18:36:17	18:36:17.2
4	XZ 83384	10.41	18:39:10.0	18:39:12	18:39:10.0
5	TYC 1322-951	12.16	no eph.	no eph.	unreadable
6	XZ 83470	11.56	no eph.	18:41:10	18:41:12.3
7	XZ 8399	8.81	18:43:08.8	18:43:09	18:43:08.92
8	XZ 83475	11.19	18:43:32.2	18:43:32	18:43:31.68
9	TYC 1321-96	10.67	no eph.	no eph.	18:44:55.2
10	XZ 83540	10.26	18:46:49.7	18:46:51	18:46:49.9
11	XZ 83328	10.92	no eph.	18:47:11	18:47:12.6
12	XZ 83545	10.86	18:47:22.3	18:47:22	18:47:22.3
13	XZ 83528	11.28	18:48:41.9	18:48:41	18:48:42.2
14	XZ 83580	9.77	18:52:03.1	18:52:03	18:52:03.29
15	TYC 1322-1435	12.36	no eph.	no eph.	18:53:23
16	XZ 83633	9.83	18:54:35.1	18:54:35	18:54:35.25
17	3UC220-047697	10.74	no eph.	no eph.	18:56:25.5
18	XZ 83693	10.93	18:58:48.1	18:58:50	18:58:48.1
19	XZ 83690	10.76	19:00:12.1	19:00:10	19:00:12.29
20	XZ 8431	9.02	19:01:23.3	19:01:21	19:01:23.7
21	XZ 83769	11.22	19:04:14.5	19:04:14	19:04:15
22	XZ 83759	11.62	no eph.	19:04:55	19:04:56
23	XZ 83750	10.41	19:10:26.6	19:10:26	19:10:26.60
24	XZ 8464	8.04	19:18:01.1	19:18:02	19:18:01.26
25	XZ 83914	10.18	19:18:35.4	19:18:35	19:18:35.49
26	XZ 83943	9.63	19:21:24.8	19:21:23	19:21:25.02
27	XZ 83832	11.14	no eph.	19:24:32	unreadable
28	XZ 83997	10.31	19:27:18.4	19:27:18	19:27:18.39
29	XZ 84040	10.45	19:30:01.8	19:30:05	19:30:01.75
30	XZ 84047	11.67	no eph.	19:30:39	unreadable
31	XZ 84060	11.23	19:32:33.4	19:32:34	unreadable
32	XZ 84076	11.53	no eph.	no eph.	19:36:30

No.	STAR	MAG	Eph Occult	Eph LOW	Time UT
33	XZ 84112	10.27	19:42:26.9	19:42:29	19:42:26.96
34	XZ 84173	11.30	no eph.	19:46:53	unreadable
35	XZ 84175	10.19	19:53:07.7	19:53:10	19:53:07.80
36	XZ 8528	9.94	19:57:06.7	19:57:06	19:57:06.68
37	XZ 8553	8.02	20:09:50.1	20:09:50	20:09:50.06
38	XZ 84453	10.79	20:10:32.6	20:10:34	20:10:32.8
39	XZ 8549	9.29	20:14:49.1	20:14:49	20:14:49.18
40	XZ 8557	9.55	20:17:18.0	20:17:18	20:17:18.06
41	XZ 8550	5.76	20:18:32.1	20:18:33	20:18:32.10
42	TYC 1322-256	11.74	no eph.	no eph.	20:20:45
43	XZ 84591	11.30	no eph.	20:24:45	20:24:43.8
44	XZ 84605	10.85	20:25:40.6	20:25:42	20:25:40.7
45	XZ 84596	11.10	no eph.	20:26:32	20:26:33.6
46	XZ 84642	11.26	no eph.	20:30:38	20:30:39.5
47	XZ 84652	10.23	20:38:40.6	20:38:40	20:38:40.68
48	XZ 8583	9.24	20:40:14.1	20:40:17	20:40:14.10
49	XZ 84773	10.84	no eph.	20:45:25	20:45:25
50	XZ 84728	9.40	20:46:07.4	20:46:08	20:46:07.80
51	XZ 84768	9.74	20:46:28.3	20:46:27	20:46:28.56
52	XZ 8579	8.31	20:48:43.7	20:48:42	20:48:44.10
53	XZ 84854	10.85	no eph.	20:51:57	20:51:56.5
54	XZ 8608	9.12	20:58:32.6	20:58:33	20:58:32.64
55	XZ 8610	8.31	21:00:33.6	21:00:32	21:00:33.86
56	XZ 8598	7.76	21:02:16.0	21:02:17	21:02:16.09
57	XZ 84980	9.98	21:05:03.4	21:05:04	21:05:03.5
58	XZ 85012	10.78	no eph.	21:11:21	21:11:22
59	TYC 1322-961	11.10	no eph.	no eph.	21:21:27
60	XZ 85171	9.55	21:25:14.3	21:25:13	21:25:14.47
61	XZ 8656	9.01	21:30:02.0	21:30:03	21:30:02.22
62	XZ 8629	8.73	21:33:13.4	21:33:27	21:33:13.56
63	TYC 1322-1333	10.93	no eph.	no eph.	21:36:15
64	TYC 1322-1413-1	11.37	no eph.	no eph.	21:42:21.2
65	XZ 8688	8.94	21:48:26.0	21:48:27	21:48:26.13

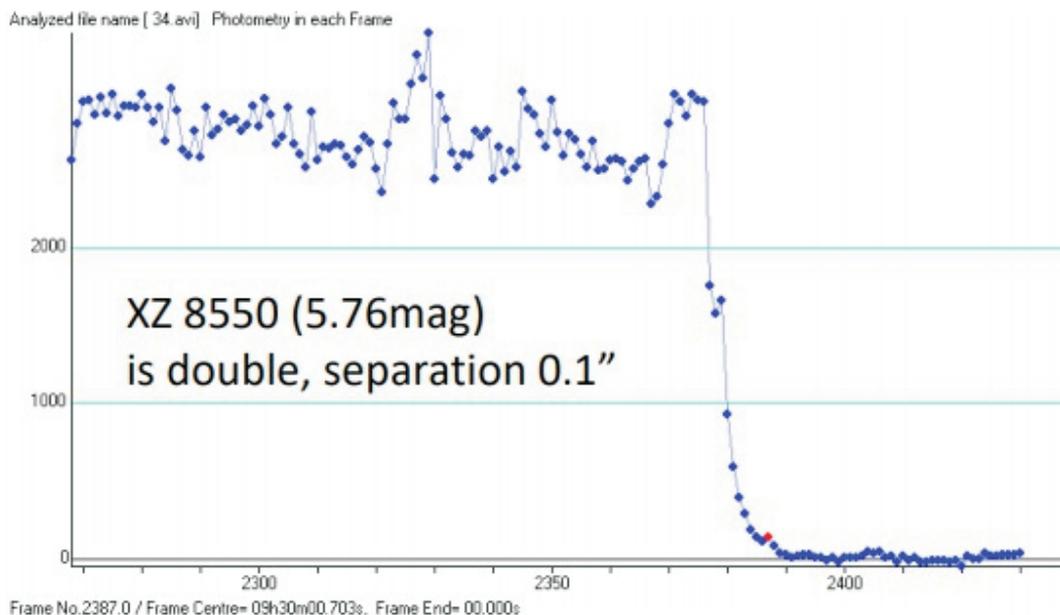


Fig. 3. The light curve of XZ 8550 double star lunar occultation recorded during the night of Apr 20th 2018. The stepped LC means double star occultation.

Another set of total lunar occultation results have been obtained in 2018 at Łódź and Tobolice (Tab. 2 and Tab. 3) by Marek Zawilski.

Tab. 2. Marek Zawilski's stations and telescopes.

No.	Location	Abbr.	Geogr. coord. WGS84		Height m a.s.l.	Telescope [#] aperture/focal length [mm]/[mm]
			Longitude ° ' "	Latitude ° ' "		
1	Łódź Pomorska	Ld-1	19 27 33.4	51 46 41.3	225	Cass. 150/2250
2	Łódź Julianowska	Ld-2	19 27 04.8	51 47 55.2	230	Cass. 90/1250
3	Tobolice	Tb	19 03 22.3	51 54 48.2	140	Cass. 200/2032

[#] All with electrical driving

Tab. 3. Results of observations of total lunar occultations recorded by Marek Zawilski.

Date 2018	Ph. [#]	Star					Station	Weather conditions		Observed time UT h m s	Eph. UT ⁺ s	O-C s
		No.	Name	mag	Double	Sep. ["]						
Feb 21	DD	ZC 405	μ Ceti	4.3	4.2/6.2	0.021	Ld-2	2/W	good	17 36 55.27 ¹ 55.31 ³	56.3	-1.0
Feb 23	DD	ZC 692	α Tauri Aldebaran	0.9			Ld-1	1/W	good	17 08 41.59 ¹ 41.63 ² 41.67 ³	41.5	+0.1

Date 2018	Ph.#	Star					Station	Weather conditions		Observed time UT	Eph. UT*	O-C
		No.	Name	mag	Double	Sep. ["]				h	m	s
Feb 23	RB	ZC 692	α Tauri Aldebaran	0.9			Ld-1	1/W	good	18 08 50.39 ⁴ 50.43 ⁶	50.4	0.0
Apr 8	RD	ZC 2797	π Sagittarii	2.9	3.6/3.6	0.10	Ld-2	2/W	good ^a	03 49 50.56 ⁴ 50.60 ⁵ 50.64 ⁶	48.4	+2.2
Apr 18	DD	SAO 93806		7.7	8.2/8.3	298.1	Ld-2	2/W	good	19 35 26.55 ⁸	26.2	+0.3
Apr 20	DD	SAO 95361		8.0	8.9/8.9		Ld-2	2/Z	good	20 12 00.9 ⁴	01.2	-0.3
Apr 20	DD	ZC 240	68 Orionis	5.8	5.7/9.4	0.10	Ld-2	2/Z	good	20 16 37.93 ¹ 38.00 ³	38.3	-0.3
Sep 5	RD	XZ 90090		10.0			Tb	3/Z	good ^b	01 44 51.96	50.6	+1.4
Sep 5	RD	XZ 90335		9.9			Tb	3/Z	good ^b	02 24 36.53	34.8	+1.7
Sep 27	RD	ZC 364	ξ^2 Ceti	4.3	4.2/6.2	0.021	Tb	1/W	good	21 29 25.25 ⁸	24.3	+1.0
Sep 30	RD	ZC 636	55 Tauri	7.0	7.3/8.6	0.62	Ld-2	2/Z	good	00 39 20.43 ⁸	18.9	+1.5
Sep 30	RD	ZC 650	63 Tauri	5.6	5.9/7.9		Ld-2	2/Z	good	02 43 04.48 ⁹ 04.51 ⁸	02.5	+2.0

Phenomenon: DD – disappearance at dark limb, DB – disappearance at bright limb, RD – reappearance at dark limb, RB – reappearance at bright limb.

* According to the Occult v.4.2.6.0 software.

¹ First decrease of light.

² Next decrease of light but star still visible.

³ Complete disappearance.

⁴ First detection of light.

⁵ Distinct increase of light.

⁶ Full brightness returned.

⁷ Duplicity not detected.

⁸ Brighter component.

⁹ Weaker component.

^a Sun 3° below the local horizon.

^b A distinct lunar ashy light disturbed observations.

Time – timing method:

W – Watec camera and IOTA video time inserter (VTI) (+0.05 s);

Z – ZWO ASI 120mm digital camera,

adjusted and checked computer time using NTP Dimension4 software,

integration time 100–200 ms.

Grazing lunar occultations

Although collective results of grazing lunar occultations for 2018 are not yet developed by the global collector, dr. Mitsuru Soma from the National Astronomical Observatory of Japan, the number of these phenomena observed in the first half of the year allows to conclude that the vast majority of all 2018 worldwide observations of grazing lunar occultations was recorded by the Polish observers. Despite of a very accurate lunar limb profile made by the Kaguya and LRO probes, we are still trying to observe grazing lunar occultations in Poland. It is still possible to improve very slightly the profile data but perhaps the most important are emotional impressions felt by observers.

Tab. 4. Lunar grazing occultations results obtained in Poland in 2018.

No.	Date	Star no	Star mag	Team leader	Obs. no.	Events no.
1a	2018/03/21	ZC 508	4.1	Wojciech Burzyński	5	41
1b	2018/03/21	ZC 508	4.1	Jacek Drażkowski	1	7
2	2018/05/20	SAO 97097	8.9	Wojciech Burzyński	1	5
3	2018/05/23	SAO 119000	7.3	Wojciech Burzyński	1	3
4a	2018/08/08	ZC 895	5.9	Adam Nowak	1	4
4b	2018/08/08	ZC 895	5.9	Leszek Benedyktowicz	3	19
4c	2018/08/08	ZC 895	5.9	Wojciech Burzyński	2	21
5	2018/08/30	SAO 110203	9.08	Wojciech Burzyński	3	10
6	2018/09/04	SAO 94684	7.2	Wojciech Burzyński	1	6
7	2018/11/30	SAO 99271	9.83	Wojciech Burzyński	1	3

In 2018 the Polish observers organized 10 grazing lunar expeditions for 7 different events during which they recorded 119 contacts in total. This is the largest number of grazing lunar occultations events recorded in a given year in Poland. These were mostly single-man expeditions and most of them have been made by Wojciech Burzyński. The largest collective campaign, with 6 observers in total, was the occultation of ZC 508 star on March 21 2018. Only 3 graphical reductions of grazes, with most contacts, are shown below. The ‘contact’ should be understood as disappearance, reappearance or short flash of the target star caused by the shape of the Moon’s profile.

On Nov 30 2018, Wojciech Burzynski recorded the faintest grazing lunar occultation observed in Poland ever. The SAO 99271 star occulted by the Moon has a visual magnitude of 9.83.

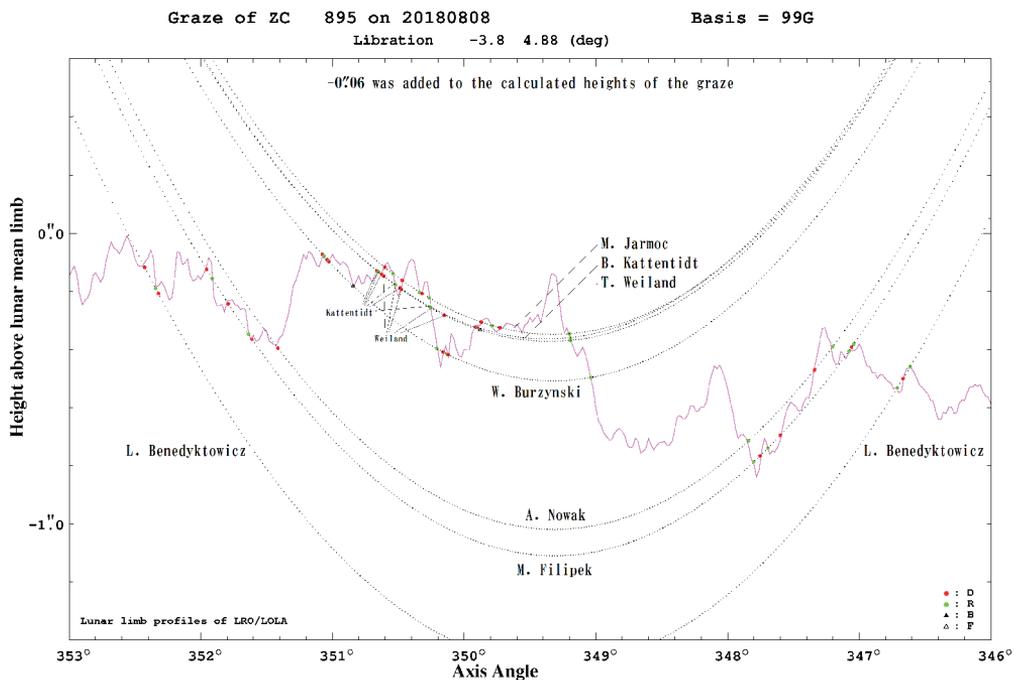


Fig. 4. The result of international cooperation - the collective reduction of lunar grazing occultation of ZC 895 star. The event was observed on Aug 18 2018 from Poland, Germany and Austria.

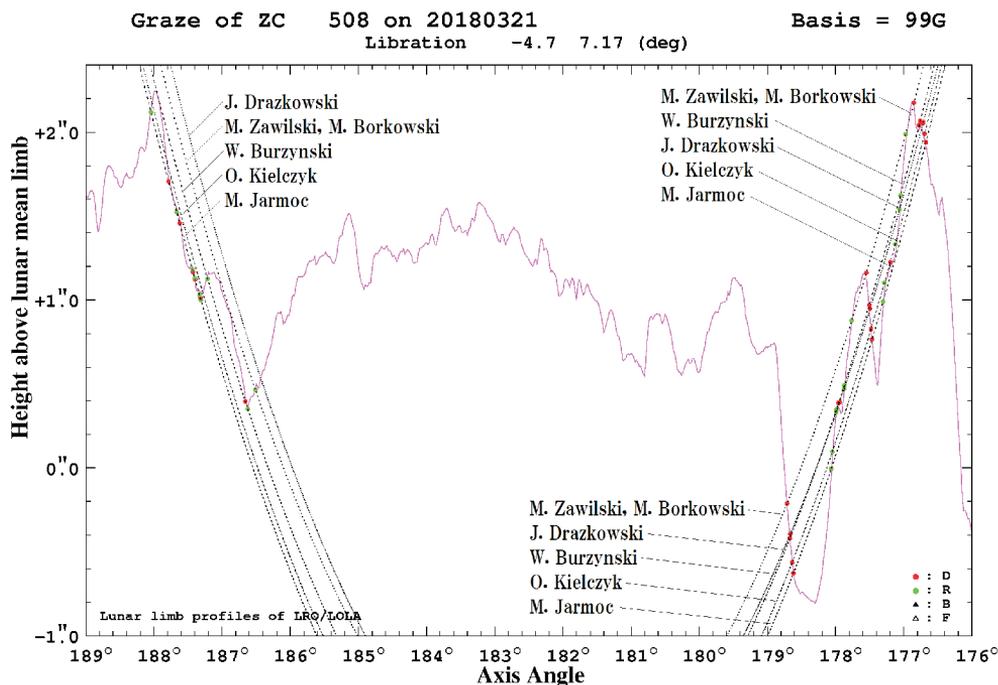


Fig. 5. The best lunar grazing occultation result recorded in Poland in 2018 – the ZC 508 occultations were observed from 2 sites.

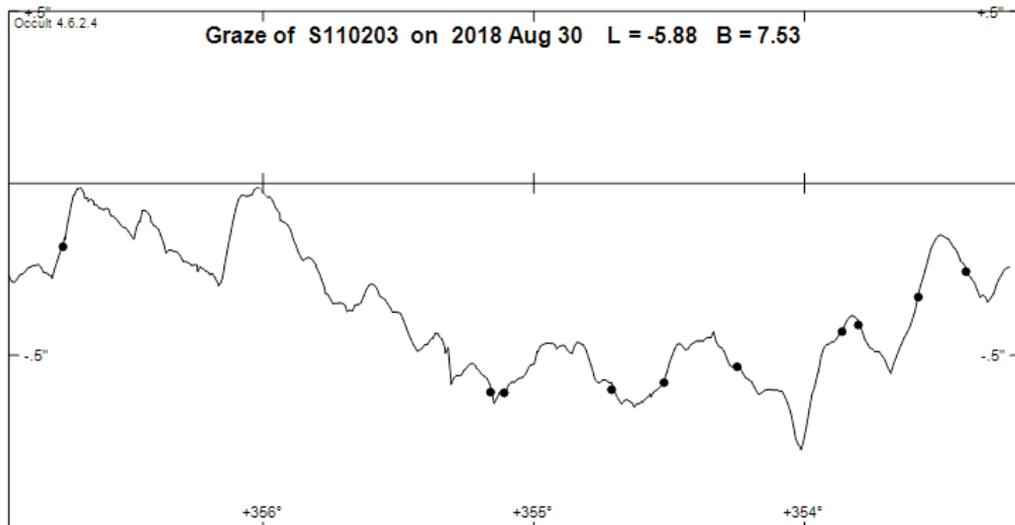


Fig. 6. Grazing occultation result of SAO 110203 star (9.1 mag) obtained by Wojciech Burzyński on Aug 30 2018.

Asteroidal occultations

In 2018 Polish observers recorded 12 asteroidal occultations in total – 4 positives and 8 negatives. As in the previous year, Dariusz Miller of Warsaw was the most active observer of asteroidal occultations.

Tab. 5. Asteroidal occultations results obtained in Poland in 2018.

No.	Date	Star	Asteroid /Planet	Result Duration	Observer
1	2018-02-23	HIP 22583	(129) Antigone	POSITIVE 12.1 s	Wojciech Burzyński
2	2018-05-08	TYC 5618-00689-1	(252) Clementina	NEGATIVE	Dariusz Miller
3a	2018-05-20	TYC 6168-00860-1	(P5M06) Himalia	POSITIVE 7.04 s	Anna Marciniak
3b	2018-05-20	TYC 6168-00860-1	(P5M06) Himalia	POSITIVE 7.36 s	Eberhard Bredner
3c	2018-05-20	TYC 6168-00860-1	(P5M06) Himalia	POSITIVE 7.51 s	Marek Zawilski
3d	2018-05-20	TYC 6168-00860-1	(P5M06) Himalia	NEGATIVE	Marcin Filipek
3e	2018-05-20	TYC 6168-00860-1	(P5M06) Himalia	POSITIVE 7.36 s	Adam Nowak
4a	2018-07-26	TYC 1769-01181-1	(476) Hedwig	POSITIVE1 5.51 s	Maciej Jarmoc

No.	Date	Star	Asteroid /Planet	Result Duration	Observer
4b	2018-07-26	TYC 1769-01181-1	(476) Hedwig	POSITIVE2 5.45 s	Maciej Jarmoc
5	2018-08-18	TYC 1770-00737-1	(1049) Gotho	NEGATIVE	Marek Zawilski
6	2018-08-30	TYC 2404-00358-1	(524) Fidelio	NEGATIVE	Dariusz Miller
7	2018-09-08	HIP 7594	(654) Zelinda	NEGATIVE	Dariusz Miller
8	2018-09-19	4UC 378-171137	(2258) Viipuri	POSITIVE 0.70 s	Wojciech Burzyński
9	2018-10-15	TYC 3340-02139-1	(433) Eros	NEGATIVE	Wojciech Burzyński
10	2018-10-15	TYC 2426-01057-1	(-) 1998 WZ31	NEGATIVE	Dariusz Miller
11	2018-11-07	TYC 2852-01417-1	(-) 2011 WG157	NEGATIVE	Dariusz Miller
12	2018-12-05	4UC 600-012360	(38) Leda	NEGATIVE	Dariusz Miller

During the same night as the Aldebaran’s last seen lunar occultation in 2018, Wojciech Burzyński has observed the asteroidal occultation of (129) Antigone with a positive result. Due to some technical problems with electronic recording equipment he made it visually.

Despite this, the visual result fits perfectly with the rest of European observations made with CCD cameras – please see below the yellow chord no. 8.

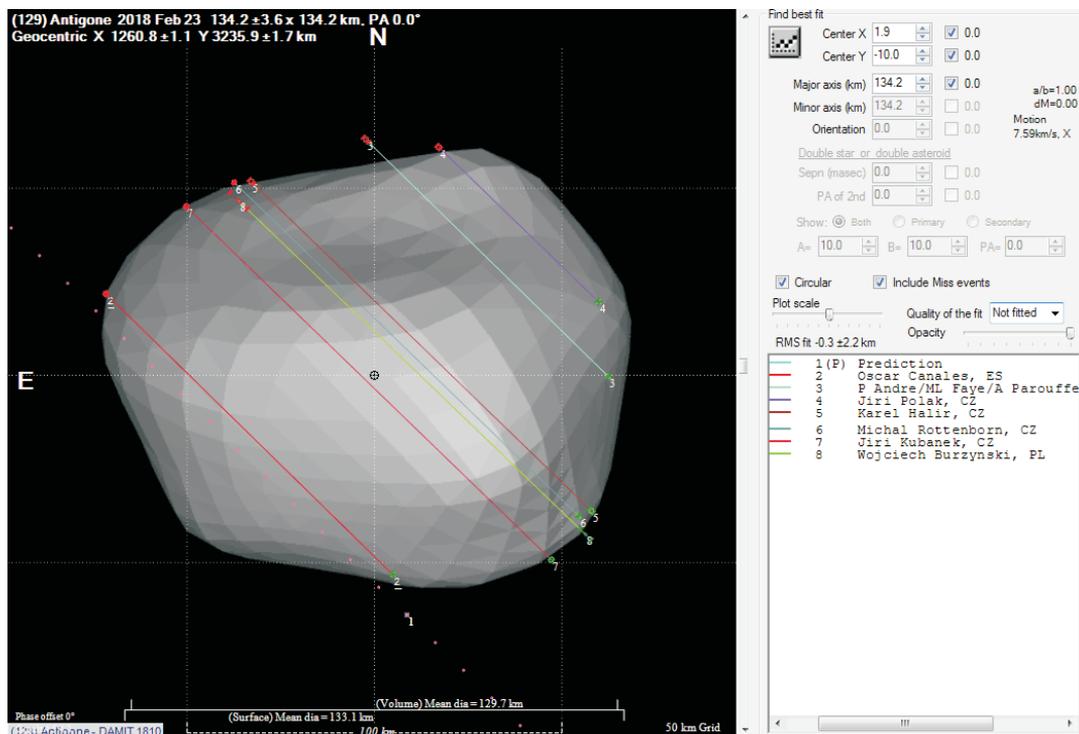


Fig. 7. Every chord means the single 'positive' observation. The DAMIT shape model of (126) Antigone has been added.

(476) Hedwig occults TYC 1769-01181-1: new double star detection

The occultation of TYC 1769-01181-1, 11.9 mag star, by the (476) Hedwig is the first case of discovery of the double star by the Polish observer, Maciej Jarmoc, by using an occultation-method.

At the same time, observers from Slovak Republic (Peter Delincak – only one component occulted) and Czech Republic (Jiří Kubanek – both components occulted) made co-discoveries about the fact that the star was new close double with the components separation of 0.040".

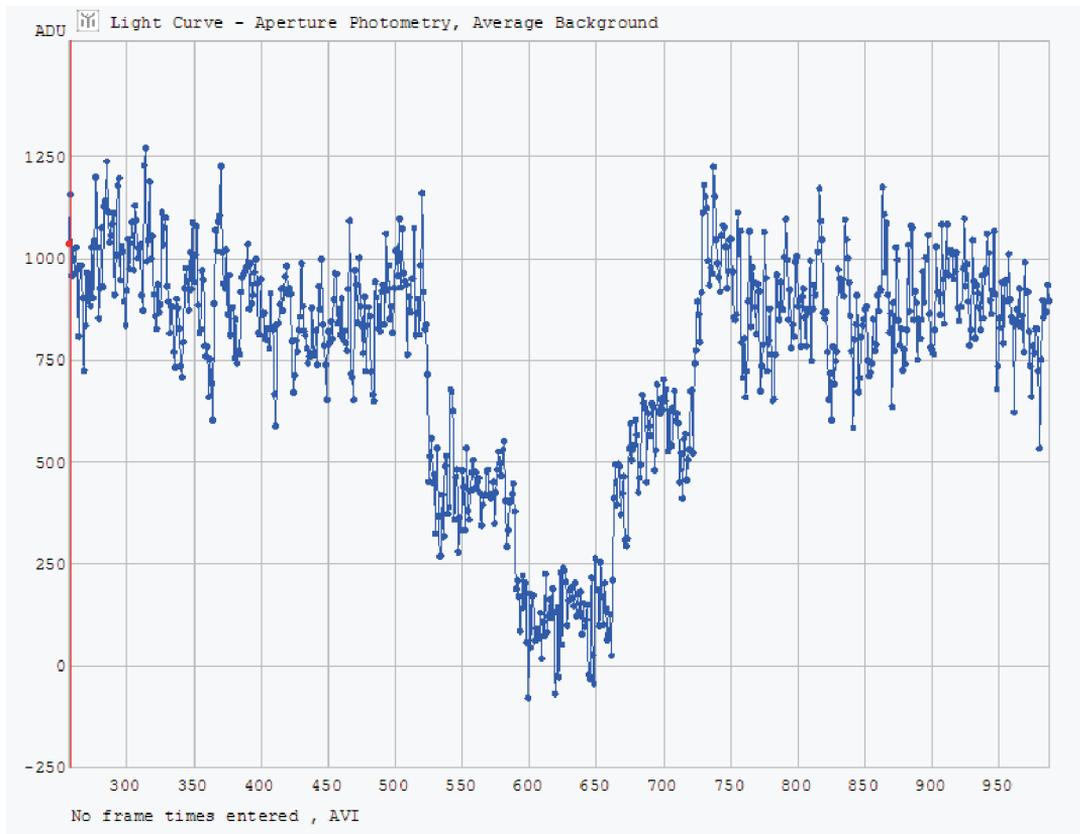


Fig. 8. The light curve recorded by Maciej Jarmoc during (476) Hedwig asteroidal occultation on July 26 2018. The stepped LC means double star occultation by the asteroid.

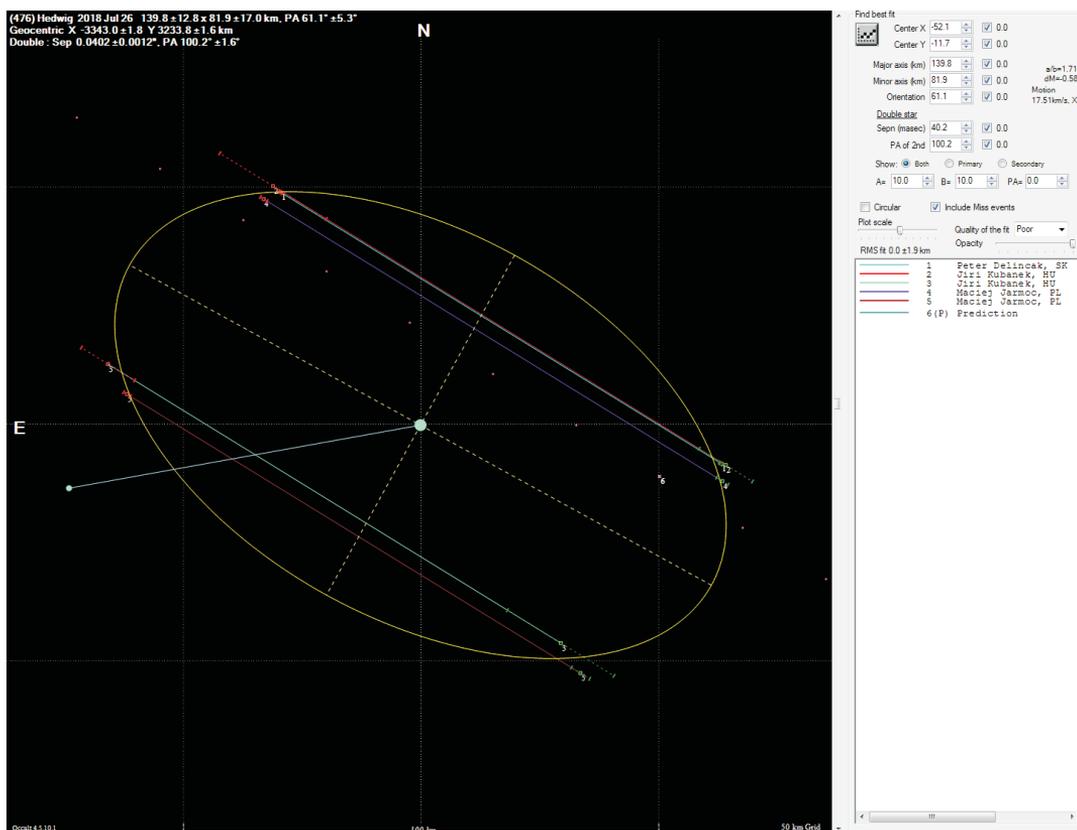


Fig. 9. The double star solution made from (476) Hedwig asteroidal occultation on Jul 26 2018.

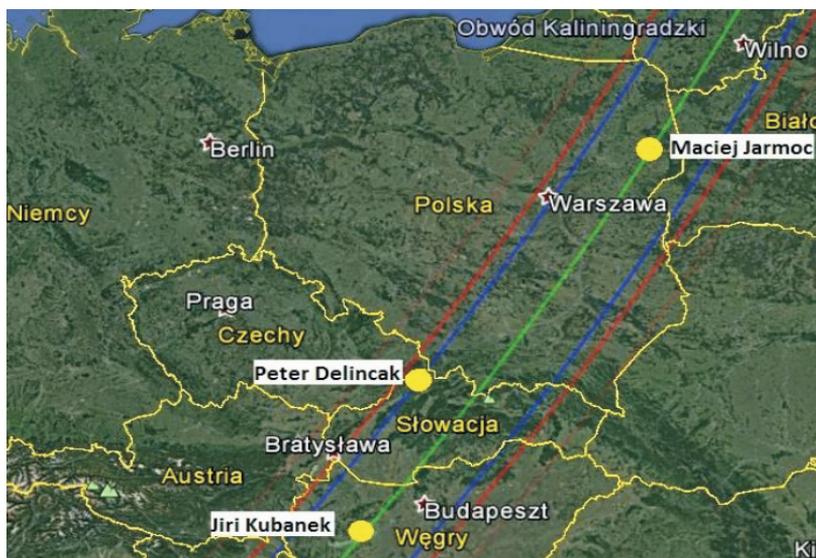


Fig. 10. The occultation path of (476) Hedwig asteroidal occultation on Jul, 26th 2018 with 'positive' observation sites marked.

(P5M06) Himalia occultation on May 20 2018

A quite rare event was the observed on May 20 – the occultation of 10.3 mag star, TYC 6168-00860-1 (or UCAC4 371-069226) by one of the irregular Jovian moon – Himalia. The occurrence of this type of phenomena is unusual because stars occulted by planet's moons usually are very faint. This time the star was bright enough so that the observations could be performed using the amateur equipment. The occultation of TYC 6168-00860-1 star by the Himalia was also exceptional because the visibility path passed through almost entire territory of Poland. This has even prompted the German experienced occultations observer, dr Eberhard Bredner, to travel 800 km one way to observe such a rare phenomenon. Unfortunately, the results obtained are insufficient to draw accurate shape of the Himalia – among others, this was caused by an inaccurate timekeeping of one of the observers.

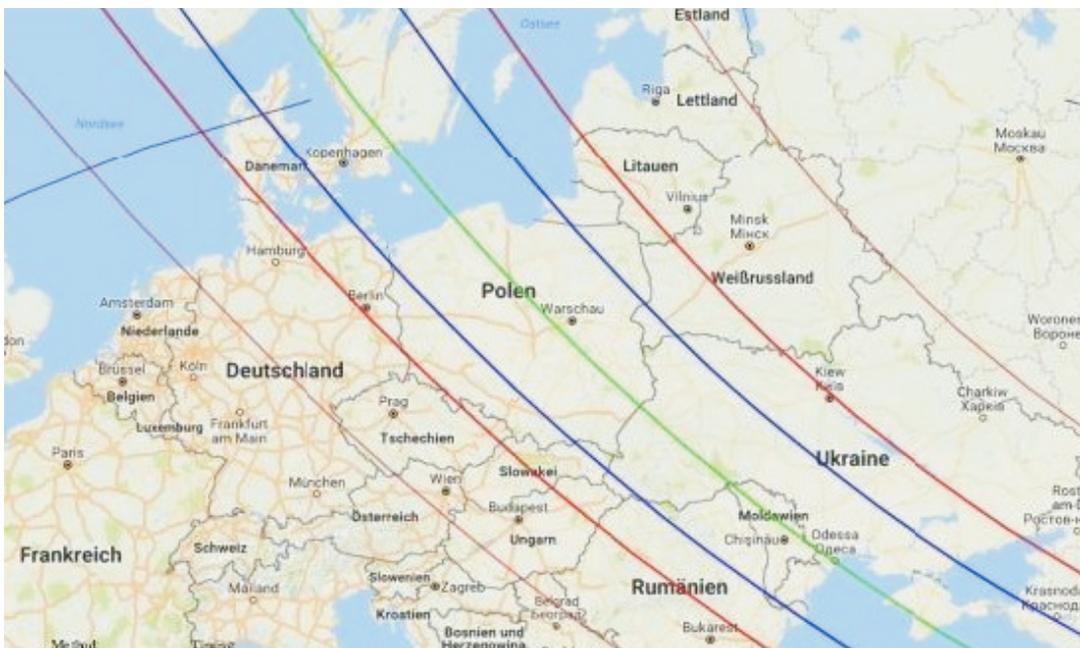


Fig. 11. The occultation path of (P5M06) Himalia planetary occultation on May 20 2018 passed through central Europe.

Tab. 6. The total result of (P5M06) Himalia planetary occultation on May 20 2018. All 'positives' are from Poland.

2018/05/20 P5M06 Himalia TYC 6168-00860-1										
chords										
P+	prediction	22:18:03	22:18:03				E 18 59 10	N 53 00 00	0	WS ;
0-	Alex Pratt	22:18:04	22:20:04	M279	VID	UK	W 01 36 28.0	N 53 50 15.4	114	WS ;
0-	Jan-Maarten Winkel	22:15:35	22:21:35	M310	VID	NL	E 06 15 36.9	N 51 54 13.6	66	WS ;
0-	Henk Bulder	22:15:00	22:17:30	M305	VIS	NL	E 06 17 35.5	N 52 40 15.9	4	WS ;
0-	Stephan Boettcher	22:13:30	22:20:00	M300	VIS	DE	E 09 52 08.1	N 54 16 23.4	68	WS ;
0-	Helmut Denzau	22:12:00	22:22:00	M356	VID	DE	E 10 33 06	N 54 20 34	40	WS ;
0-	Konrad Guhl	22:15:00	22:22:00	M180	VID	DE	E 13 11 24	N 53 15 57	74	WS ;
0-	Michal Rottenborn	22:16:18	22:20:18	M303	VID	CZ	E 13 19 55.8	N 49 42 26.4	326	WS ;
0-	Christian Weber	22:15:24	22:20:19	L102	CDD	DE	E 13 25 41.6	N 52 30 58.5	40	WS ;
0-	Dieter Ewald	22:13:01	22:21:30	L127	VIS	DE	E 13 42 05.4	N 52 46 40.0	63	WS ;
0-	Peter Enskonatus	22:17:00	22:20:00	M200	CDD	DE	E 13 43 04	N 52 25 42	38	WS ;
0-	Tomas Janik	22:15:56	22:20:17	M254	VID	CZ	E 14 00 09.3	N 50 44 00.5	460	WS ;
0-	Vaclav Priban	22:11:16	22:21:03	M300	VID	CZ	E 14 28 35.8	N 50 08 27.0	325	WS ;
0-	Jan Manek	22:16:14	22:20:14	M205	CDD	CZ	E 14 46 51.7	N 49 54 33.2	530	WS ;
0-	Gerhard Dangl	22:16:37	22:20:20	M254	VID	AT	E 15 14 08.5	N 48 47 13.0	539	WS ;
0+	A. Marciniak et al	22:17:50	22:18:39	M150	VID	PL	E 16 56 40.0	N 52 26 57.8	85	WS ;
	7.04 22:18:04.02 0.16 22:18:11.06 0.16			GPS++						
Observation with B. Marciniak/P. Krzenciessa. ;										
0-	Petr Zeleny	22:15:50	22:20:20	M252	VID	CZ	E 17 58 24.5	N 49 27 47.9	338	WS ;
0+	Eberhard Bredner	22:10:00	22:20:00	M200	VID	PL	E 18 13 37.3	N 52 11 10.1	100	WS ;
	7.36 22:17:59.29 0.08 22:18:06.65 0.08			GPS++						
0-	Peter Delincak	22:17:51	22:18:26	M400	CCD	SK	E 18 42 09.5	N 49 24 15.2	680	WS ;
0+	Marek Zawilski	22:16:00	22:20:00	M203	CDD	PL	E 19 03 22.4	N 51 54 48.3	140	WS ;
	7.51 22:17:56.18		22:18:03.69 0.07	NTP						
0-	Marcin Filipek	22:11:00	22:21:00	M250	VIS	PL	E 19 44 58.6	N 50 12 46.1	430	WS ;
0+	Adam Nowak	22:16:54	22:19:05	M200	CCD	PL	E 20 36 23.9	N 50 47 05.3	258	WS ;
	7.36 22:17:49.44 0.1 22:17:56.80 0.1			NTP						
Unreliable time source. ;										

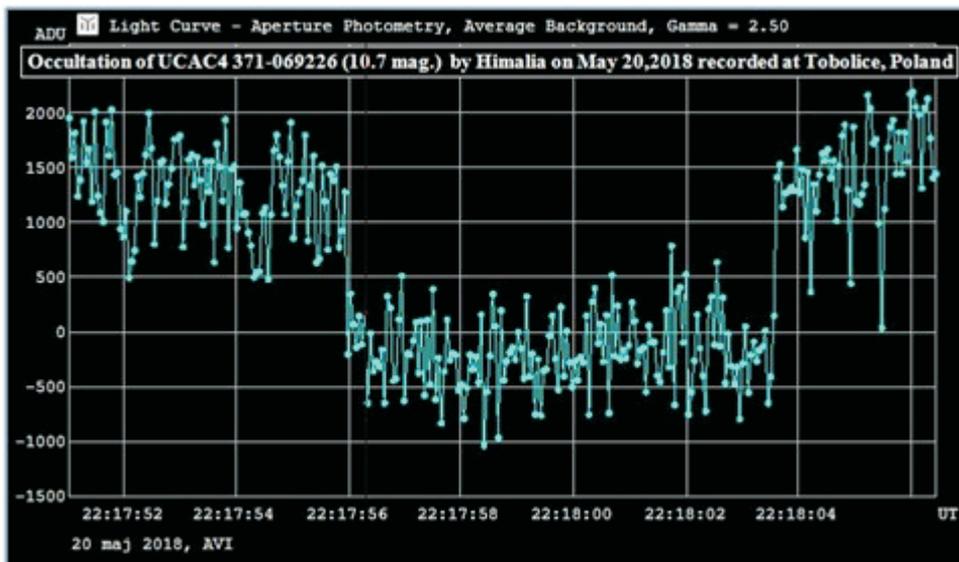


Fig. 12. The light curve for the whole phenomenon obtained at Tobolice near Łódź by Marek Zawilski.

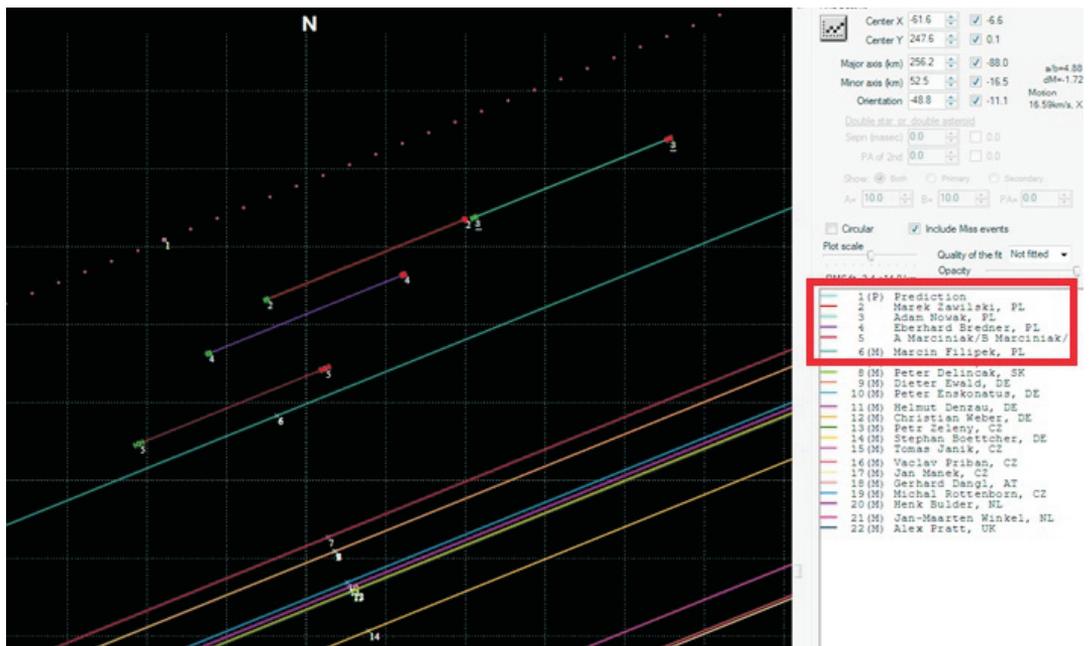


Fig. 13. The total result of (P5M06) Himalia planetary occultation on May 20 2018. Unfortunately, the results obtained are insufficient to draw accurate shape of the Himalia's body.

(2258) Viipuri occultation: possible asteroid's satellite detection

In the case of the occultation of 4UC 378-171137 star by the asteroid (2258) Viipuri we are dealing with a possibility of re-discovery its small satellite, with a diameter of 3–5 km. The event of a similar type, associated with (2258) Viipuri, was observed in the USA in 2013. It is not entirely possible to treat observation made by Wojciech Burzyński and Maciej Jarmoc as a confirmation of the existence of the asteroid's moon. It is equally likely that asteroid (2258) Viipuri has occulted a close double star with companions separation of 0.088". The investigation of this event's nature is in progress.

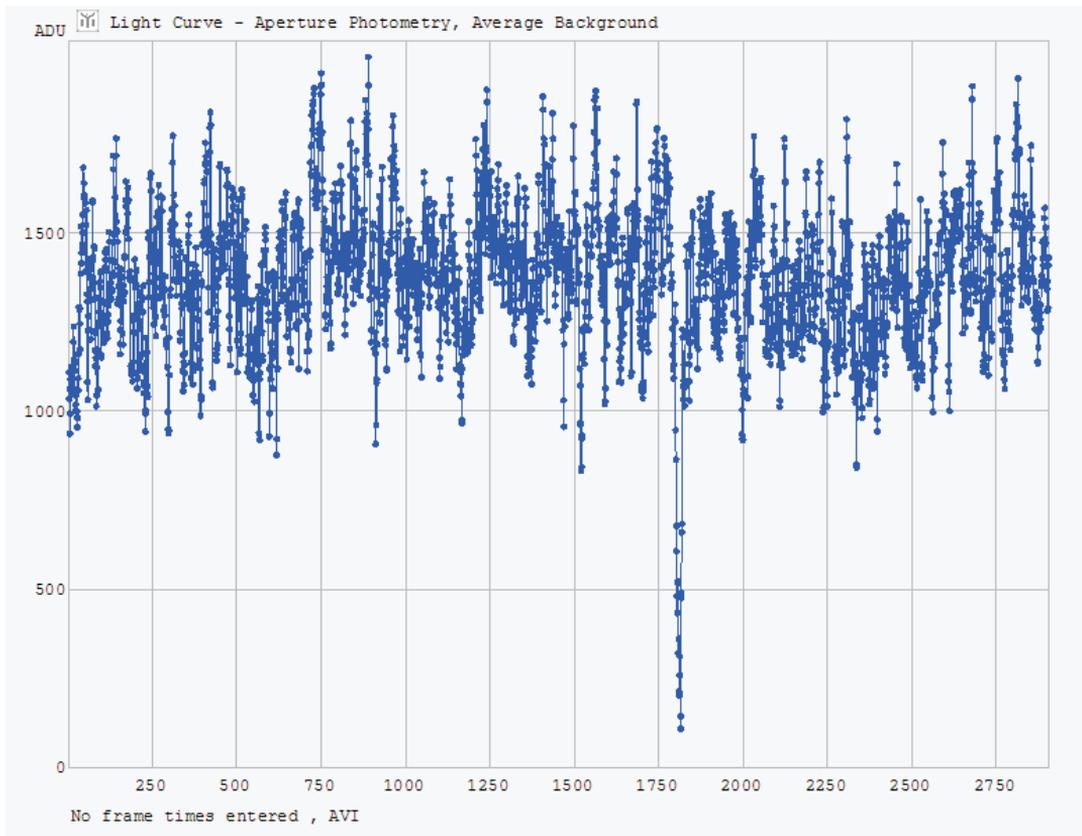


Fig. 14. The LC recorded during (2258) Viipuri asteroidal occultation on Sep 19 2018. Possible asteroid's satellite or a new double star detection.

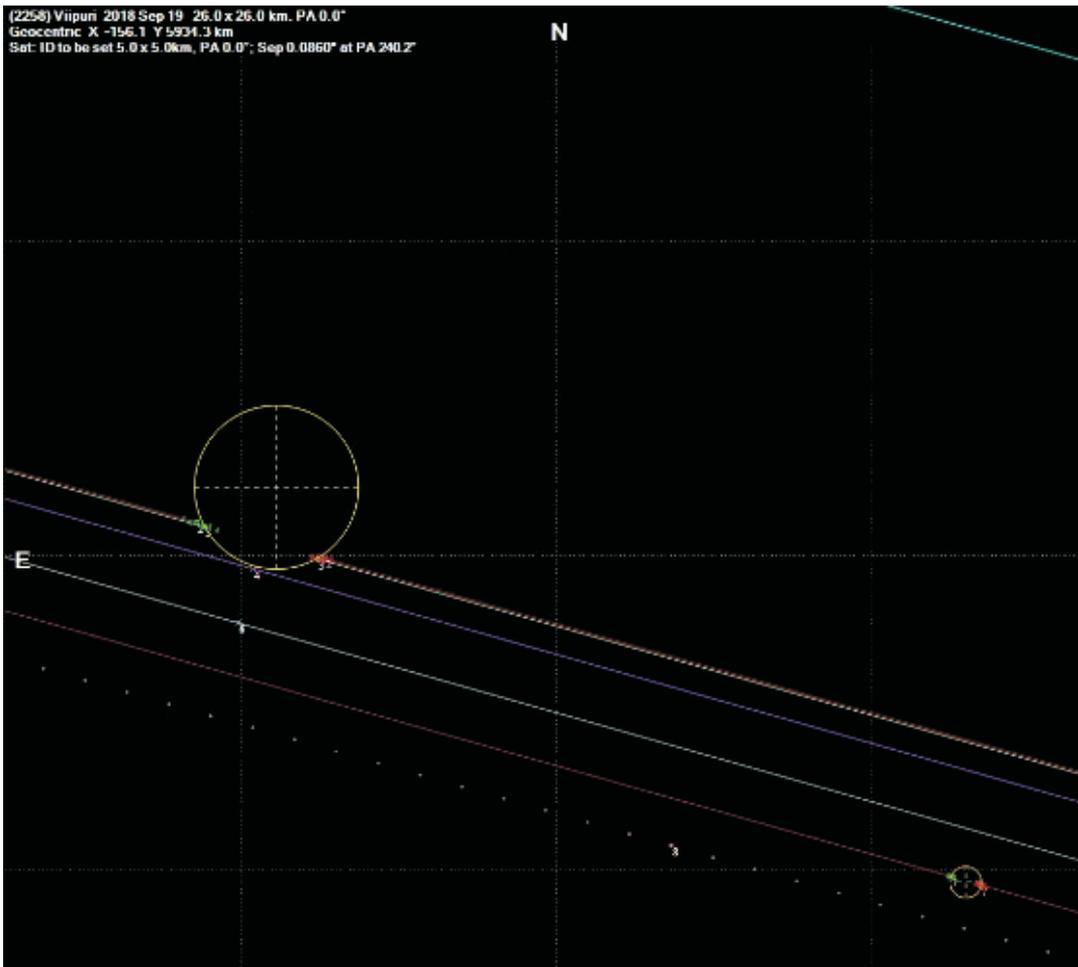


Fig. 15. The total result of (2258) Viipuri asteroidal occultation. The red chord with no. 7 was observed by Wojciech Burzyński and Maciej Jarmoc.

References

- [1] www.euraster.net – European asteroidal occultations results.
- [2] www2.nao.ac.jp/~mitsurusoma/grazes.html – reduction of worldwide lunar graze observations.
- [3] www.sopiz.ptma.pl – the website of the Section of Observation of Positions and Occultations of the Polish Amateur Astronomers Society.
- [4] www.iota-es.de – European Section of International Occultation Timing Association.
- [5] www.occultations.org – International Occultation Timing Association.

Mikołaj SABAT¹

¹ Comet Observers Section of the Polish Amateur Astronomers Society (Sekcja Obserwatorów Komet Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii – SOK PTMA), ul. Warszawska 284, 25-414 Kielce.

Comets Observed from Poland in 2018

Abstract

In this paper I present an annual summary of reports received by SOK PTMA during 2018. This year ended with more than 450 reports obtained for 21 objects, especially periodic, such as 21P/Giacobini-Zinner and 46P/Wirtanen, which were observed in SOK PTMA before, or 64P/Swift-Gehrels and 38P/Stephan-Oterma reported by Polish observers for the first time. Despite poor weather conditions during the historical 46P/Wirtanen return, total number of 467 observation reports is the highest result since 2007 and comet 17P/Holmes campaign. Analysis includes estimates of coma diameter, cometary tail length and physical interpretation of comet's light curves.

Introduction

Comet Observers Section in Polish Amateur Astronomers Society (Sekcja Obserwatorów Komet Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii – SOK PTMA) is an organization that takes its origin from 1985-1986 *International Halley Watch* campaign. Since then, observers coming mainly from Poland reported nearly 16000 observations of 254 comets, supplying the international database maintained and published by *International Comet Quarterly*. In comparison to last 2 years, a total number of 467 reports obtained for 21 objects in 2018 seems to be a good achievement and a significant progress in comparison to previous years. Our 2018 result is the most successful not only throughout recent few years, but the whole decade. Last time when observers efforts ended with such a great number of reports was in 2007 during the spectacular outburst of periodic comet 17P/Holmes. It is worth to notice that after 2017 observation campaign, we wrote in similar words about 330 reports received in 2017. It confirms that activity of Polish observers is still increasing and can be limited only by the number of relatively bright comets. In 2018 we broke another record, as observers reported 21 comets – nearly twice more than the year before. Some statistics of observations received in recent 3 years are presented in table below.

2016			2017			2019			
Comet	Observations		Comet	Observations		Comet	Observations		
	In the year	overall		In the year	overall		In the year	overall	
C/2013 US10	41	77	C/2015 V2	128	136	21P/G-Z	150		
C/2014 S2	13	23	41P/T-G-K	83		64P/S-G	55		
C/2015 V2	8	136	C/2017 O1	48		46P/Wirtanen	46		
P/2013 X1	8	14	45P/H-M-P	17	21	38P/S-O	38		
252P/LINEAR	6		C/2015 ER61	14		C/2016 R2	24	29	
45P/H-M-P	4	21	C/2017 E4	9		C/2016 N6	24		
C/2014 W2	3	6	29P/S-W	8	27	C/2017 S3	20		
9P/Tempel	2		2P/Encke	8	9	29P/S-W	19	27	
2P/Encke	1	9	C/2016 R2	5	29	C/2015 O1	18		
C/2016 A8	1		24P/S.	2	4	C/2017 T1	15	16	
10 objects	87 observations	12 objects	330 observations	62P/T.	2	4	C/2016 M1	15	
				C/2017 T1	1	16	C/2018 U1	14	
				48P/Johnson			7		
				78P/Gehrels			5		
				C/2018 N1			4		
				37P/Forbes			3		
				C/2017 M4			3		
				24P/S.	2	4			
				62P/T.	2	4			
				C/2018 L2			2		
				185P			1		
						21 objects	467 observations		

As it can be seen, the highest numbers of reports annually were taken for short-period comets, such as 21P/Giacobini-Zinner, 64P/Swift-Gehrels and 46P/Wirtanen. Poor weather conditions during November and December 2018 made the historical return of 46P difficult to

observe and even if this comet was the one that we have been waiting for the most, it was barely the third most popular object of 2018.

All visual observers used only standard observation methods recommended by the ICQ (*International Comet Quarterly*), estimating apparent brightness of a comet, coma diameter, condensation degree (DC) and tail length with its position angle. We also collected some CCD observations with similar measurements made on received photographs.

In this paper, I present an annual summary of observations received by SOK PTMA during 2018. Discussion will include information about comets observed in that year (until 1st Jan 2019). For comets such as 64P, 46P, 38P, which observation periods extended to the following year, full analysis will be published in the 2019 summary. The main part of presented analysis include calculations of comets' absolute magnitudes H_0 and their activity coefficient n . These information were gathered by fitting a curve to observation points on a plot of apparent magnitude vs. time of observation. H_0 and coefficient n are constants in the formula, describing fitted curves: $H_0 + 5 \cdot \log(\Delta) + 2.5 \cdot n \cdot \log(r)$, where Δ is comet-Earth distance and r is comet-Sun distance at the time of observation. Curves were fitted using the *Comet* – software by S. Yoshida. Orbital elements used for calculation are usually presented at the beginning of every comet analysis description. Source of orbital data is always the latest MPC circular available in February of 2019 (with epoch corresponding to the observation period). Moreover, discussion covers comets' real diameter and real length of cometary tail (especially their evolution and maximum values), calculated geometrically from apparent values reported by Polish observers. Larger description of our results are presented for 5 most commonly observed comets and 29P. Last chapter of this article presents a summary of all observed objects, including comets with insufficiently small amount of data to prepare in-depth analysis.

Observations of selected comets

21P/Giacobini-Zinner

Number of observations		Observation period			Max. brightness	
150		2018-06-06 – 2018-10-15			6.6 mag	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2018-09-10.28	172.861	195.392	31.998	0.7105	1,0128	6.54

Comet 21P/Giacobini-Zinner is a short-period object that approaches internal Solar System once in about 6.5 years. The 2018 return was the third appearance of this comet observed in SOK PTMA. Earlier, it was seen in 1998-1999 (65 reports, reaching 8 mag) and in 2005 (4 reports, about 11 mag). Therefore, its latest return was the most favorable of those observed from Poland. It reached maximum brightness of about 6,6 mag on 11th September 2018

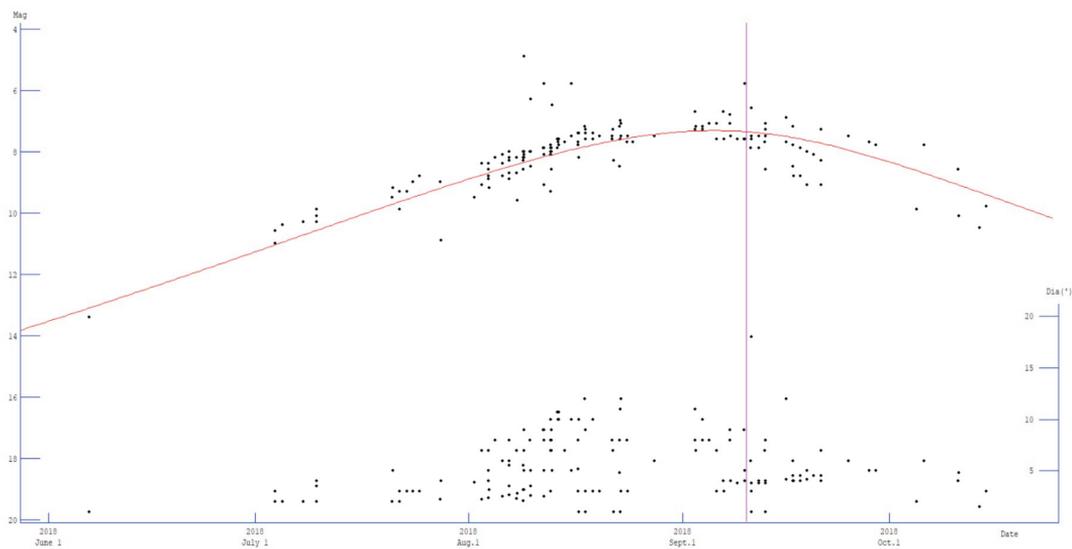
(M. Paradowski), staying visible in small binoculars for about 3 months. Information about 21P observers are presented in the table below.

Observer name	Location	Instruments used	Obs. number
Leszek Benedyktowicz	Kraków	8B, 25L	5
Jerzy Bohusz	Myślin	25L	4
Franciszek Chodorowski	Białystok	11L	12
Marcin Filipek	Jerzmanowice	10B, 40L	4
Piotr Guzik	Krosno	5B, 33L	28
Damian Jakubek	Smardzowice	8B	3
Maciej Kwinta	Kraków	19L	38
Marian Legutko	Gliwice	10B, 13M	2
Wacław Moskal	Jasło	8B	3
Mieczysław Leszek Paradowski	Lublin	3A, 4B, 5A, 7R, 20L, 30L	22
Jacek Powichrowski	Knyszyn	6B, 35L	9
Maciej Reszelski	Szamotoły	10B	20
Mikołaj Sabat	Kielce	20T	1
Mariusz Świętnicki	Zręcin	5B, 25L	3

Symbols used: B – binocular;

telescopes: L – Newton reflector, R – refractor, T – SCT, A – astrograph, M – MAK.

Numbers present aperture of an instrument in centimeters.



Time period [d]	Results	Residuals
[-96 ; 35]	9.2 mag + 5 log Δ + 20 log r (t+10)	± 0.66

Note that: 1) time period = 0 d means perihelion date (T); 2) results are presented as constants in the following formula: $H_0 + 5 \log \Delta + 2.5 n \log r$ (where: H_0 – absolute magnitude, Δ – comet-Earth dist., n – comet activity, r – comet-Sun dist.); 3) residuals are given only for data included in the calculation.

After eliminating all standing-off measurements, determined light curve is described by absolute magnitude of 9.2 mag and activity coefficient $n = 8$, assuming that comet reached maximal apparent brightness 10 days before perihelion passage. Relatively huge residuals can be explained by notable dispersion of data points.

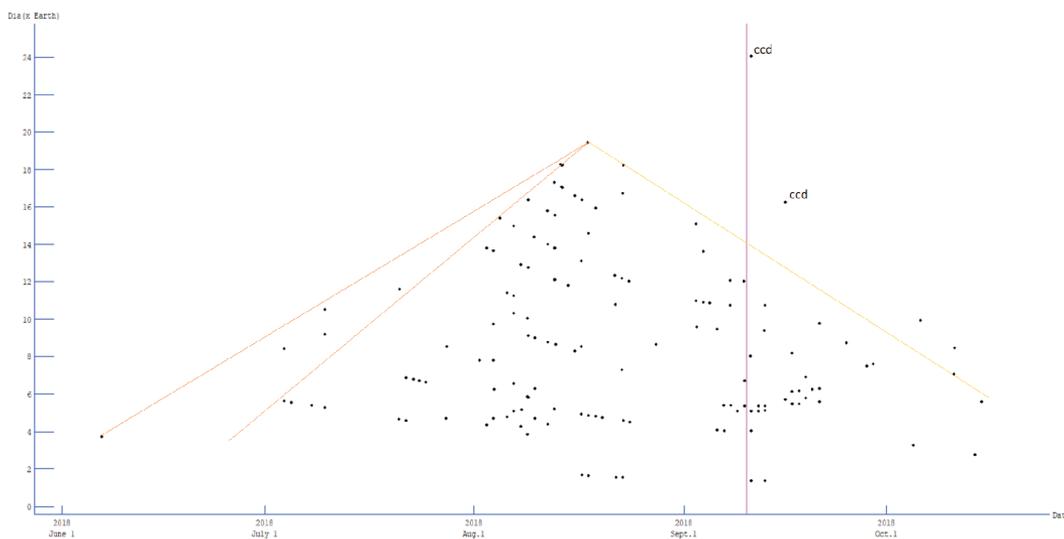


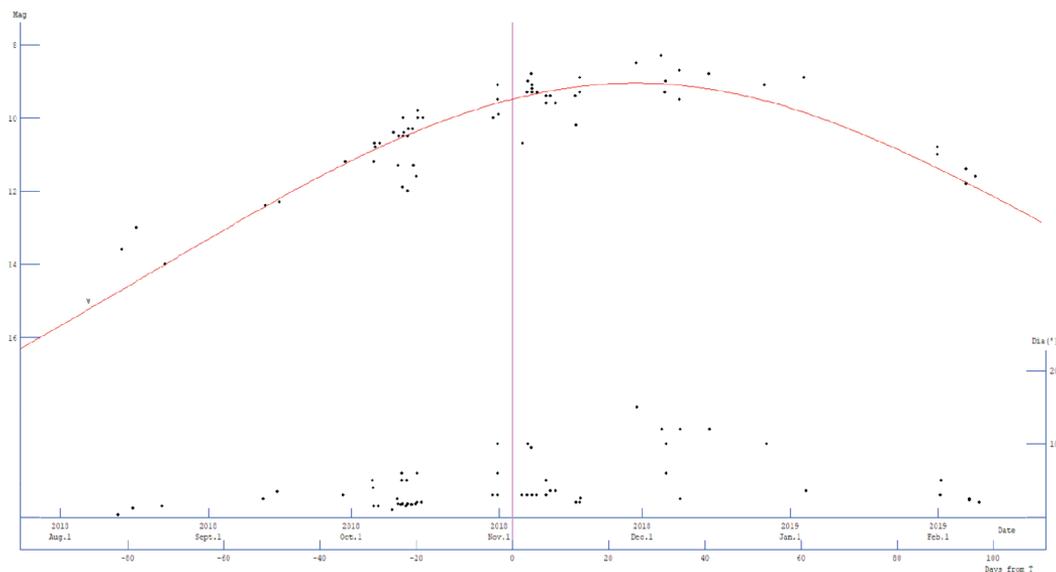
Figure above shows evolution of real coma diameter in a function of time.

All received reports contained estimations of coma diameter in angular measure. As can be seen, the largest angular values were measured during the period of approaching closer to Earth and the Sun. After converting all points from angular measure to actual linear diameters of the coma, we obtained a graph with a pyramidal shape and a clearly visible maximum. Observation points that are the most distant from this tendency were made with CCD cameras, which means that the sensitivity of the camera allowed to register a much larger part of the envelope than during visual observations. From the beginning of the observation period, a continuous, almost linear increase in the diameter of the coma was visible. In mid-June, the diameter was about 50000 km and later in July about 110000 km. The maximum diameter observed visually amounted to nearly 250 000 km in mid-August. The largest diameter of the coma was measured about 2-3 weeks before perihelion, which is consistent with the earlier assumption resulting from the analysis of changes in brightness with the highest activity of the object 10 days before approaching close to the Sun. On the CCD matrix, it was possible to register the larger part of the coma with a diameter of approximately 305 000 km just after comet's perihelion passage. In August and September there were excellent conditions for observing the comet's tail. In total, 68 reports containing the estimation of its angular length and PA were obtained, which is more than only brightness estimates for the second most-observed comet of the year. Tail length on 1st August 2018 was 200000 km long, growing up to 320000 km in late August. The highest visual estimation of 1,2° on 13th September 2018 (P. Guzik) corresponds to linear length of approx. 1 250 000 km. This estimation is similar to received CCD observations from the same time period.

64P/Swift-Gehrels

Number of observations ⁺		Observation period ⁺			Max. brightness	
61 (55) ₂₀₁₈		2018-08-06 – 2019-02-08			8.3 mag	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2018-11-3.89	97.151	299.997	8.949	0.6875	1.3932	9.41

⁺ Observation period extends over given range, so more observation data is expected. Complete analysis will be featured in 2019 summary.



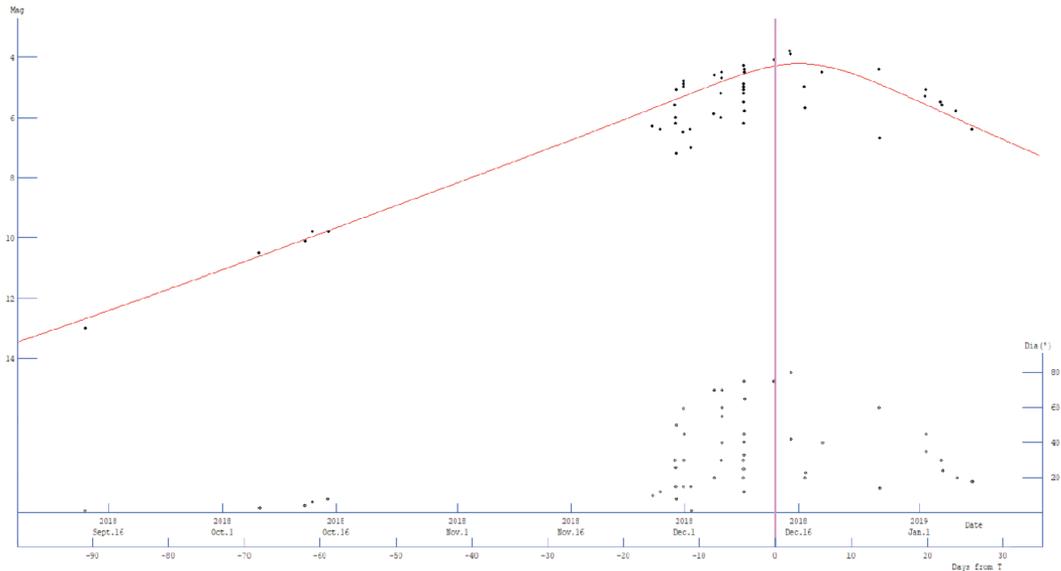
Time period [d]	Results	Residuals
[-89 ; 97]	$6 \text{ mag} + 5 \log \Delta - 30 \log r(t-45)$	± 0.52

64P/Swift-Gehrels is a short-period comet, known since its initial discovery in 1889 by L. Swift, but afterwards not observed until its rediscovery in 1972 by T. Gehrels. In SOK PTMA this object remained unobserved until 2018 apparition. From August 2018 Polish observers sent 55 observation reports by the end of the year, enabling us to estimate comet's absolute magnitude to approx. 6 mag and its activity coefficient $n = 12$ with an assumption that the object reached highest brightness 45 days after perihelion. Until mid-August, comet's envelope diameter stretched to less than 40000 km. In a month time it expanded to nearly 90000 km and afterwards to 110000 km in mid-October. At the beginning of November, when the comet was close to its perihelion, coma was about 190000 km wide. However, it was not the highest measured diameter, as it reached 330 000 km on 29th November, 3 weeks after perihelion (according to one visually standing-off observation made under dark sky by P. Guzik). Cometary tail was not observed. 64P remained observable from Poland in 2019, so full data analysis will be presented in the 2019 summary.

46P/Wirtanen

Number of observations ⁺		Observation period ⁺			Max. brightness	
46		2018-09-13 – 2019-01-01			3.8 mag	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2018-12-12.94	356.354	82.157	11.746	0.6588	1.0554	5.44

⁺ Observation period extends over given range, so more observation data is expected. Complete analysis will be featured in 2019 summary.



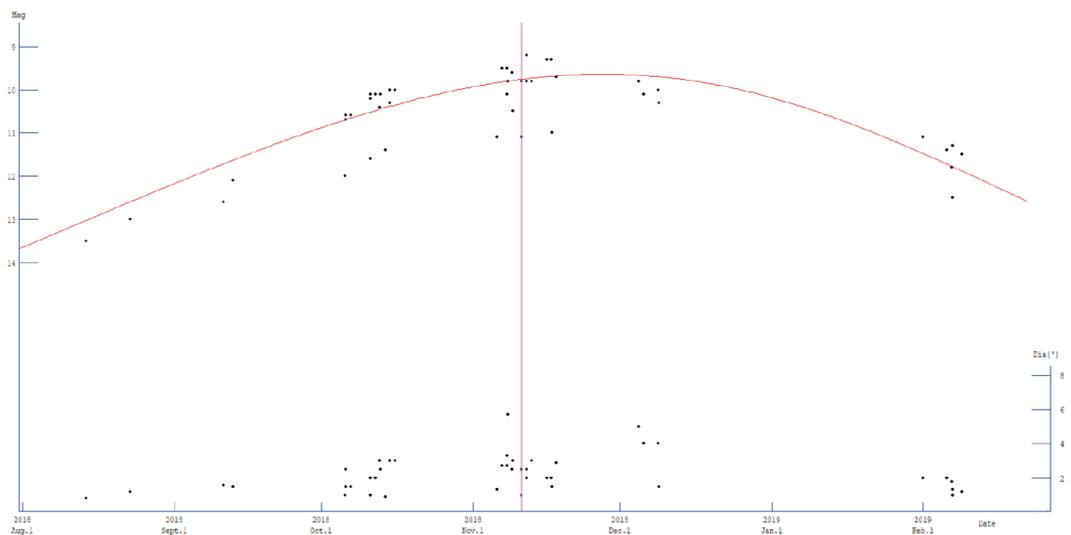
Time period [d]	Results	Residuals
[-90 ; +20]	$9.2 \text{ mag} + 5 \log \Delta - 22.5 \log r$	± 0.42

46P/Wirtanen is a periodic comet discovered in 1947. In SOK PTMA it was already observed during returns in 2002 and 2007, but none of them were as favorable as that in 2018. During last two appearances, 46P reached magnitudes 10 and 8.2 respectively, but its observation conditions were not so favorable as in the last year. The 2018 return was supposed to be the most attractive in the whole history of its observation, because the comet made closest approach to Earth 0.08 au just 4 days after perihelion. Despite poor weather conditions in autumn of 2018, the comet fulfilled these high expectations and reached maximal magnitude of 3.8 mag in mid-December. At the beginning of the observation period in September 2018 46P's coma was about 40000 km wide. With comet's activity increasing, its envelope amplified by a factor of 3 until mid-October and then reached a maximum diameter of about 320 000 km in first days of December. A week before perihelion its coma started to slowly diffuse and 46P ended this year with the diameter of about 240000 km. A presence of visually detectable comet tail was not reported.

38P/Stephan-Oterma

Number of observations ⁺		Observation period ⁺			Max. brightness	
44		2018-08-14 – 2019-02-08			9.2 mag	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2018-11-10.98	359.582	78.0	18.353	0.8593	1.5886	37.96

⁺ Observation period extends over given range, so more observation data is expected. Complete analysis will be featured in 2019 summary.

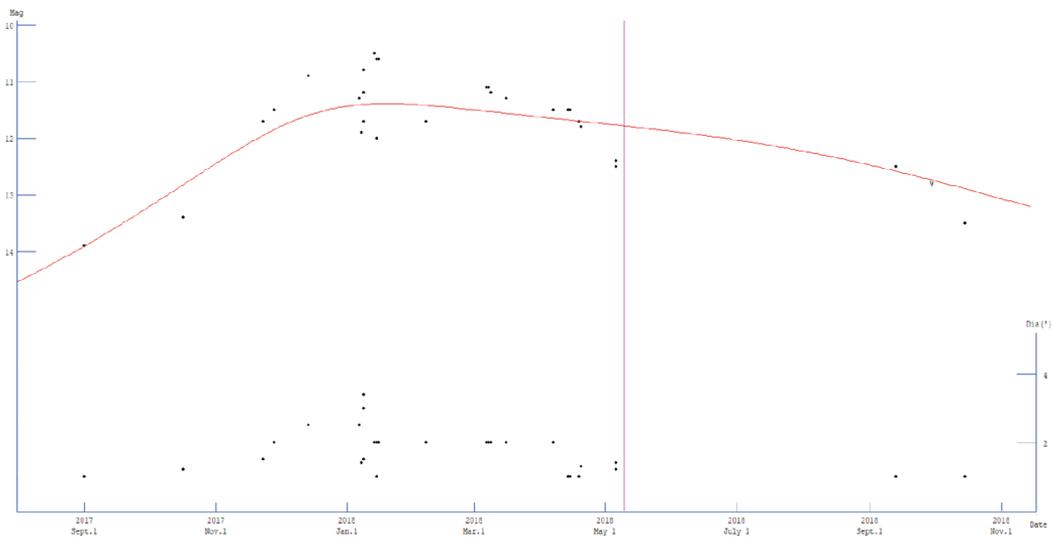


Time period [d]	Results	Residuals
[-88 ; 90]	$6 \text{ mag} + 5 \log \Delta + 20 \log r$	± 0.41

Fourth most commonly observed comet in 2018 was another short-period object: 38P/Stephan-Oterma, observed in SOK PTMA for the first time. Comet reached its maximal brightness of 9.2 mag shortly after perihelion passage. From August 2018 till the end of the year a progressive increase of coma diameter was observed. According to first observations cometary envelope was about 60000 km wide when it was 1.95 au from Earth, reaching 100 000 km in September and 140000 km in October. A maximum diameter of the envelope about 190 000 km was reported on 8th November (CCD observation, M. Paradowski). During the next month coma size did not changed dramatically. From only one received tail length estimation (CCD), we are able to infer that its actual linear length was approximately 300 000 km.

C/2016R2 (PanSTARRS)

Number of observations		Observation period			Max. brightness	
29 (24) ₂₀₁₈		2017-09-01 – 2018-10-15			10.5 mag	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2018-05-09.58	33.193	80.569	58.224	0.9963	2.6024	–



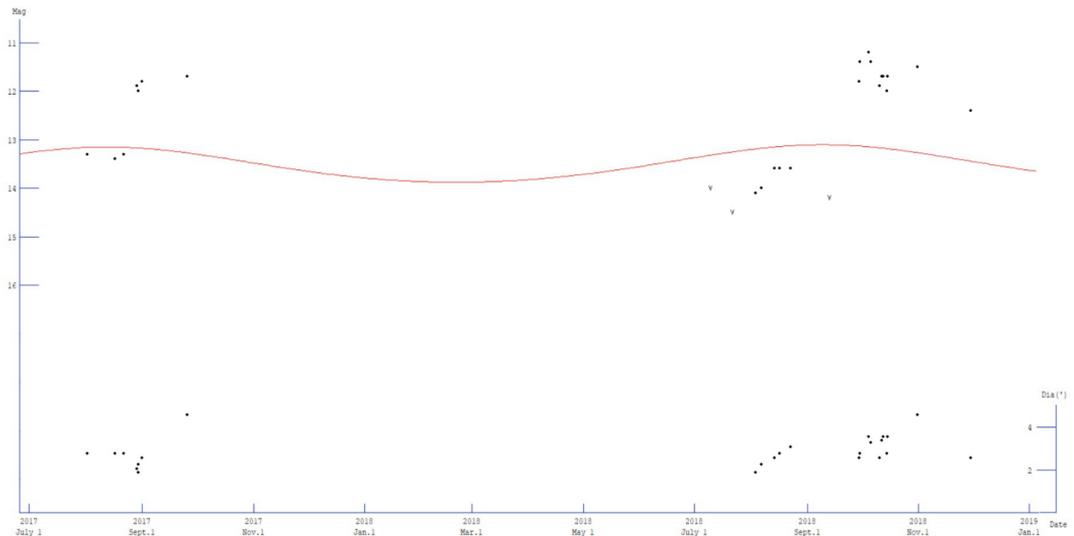
Time period [d]	Results	Residuals
[-250 ; 159]	4 mag + 5 log Δ + 12 log r	± 0.45

C/2016 R2 (PanSTARRS) is a long-period comet that passed through perihelion on 9th May 2018 at the distance of 2.6 au. First observations from Poland were made during the previous year (250 days before perihelion), on 1st September 2017, but in the whole 2017 we received only 5 reports. More numerous series of reports starts at the turn of 2017 and 2018.

Although the comet was not relatively bright one, approaching 10.5 mag in mid-January 2018, it had relatively big coma, extending up to 140000 – 165000 km in September/November 2017, then to 230000 km in December and maximum diameter of 310 000 km on 8th January 2018 (vis., J. Bohusz). Decrease of the coma diameter was slower than its moderate increase: 240000 km in March 2018 and still more than 150000 km in September 2018. One report included visual tail length estimation to about 0.3° on 8th January (P. Guzik), that corresponds to its linear size of about 1.75 million km.

29P/Schwassmann-Wachmann

Number of observations		Observation period			Max. brightness	
(8) ₂₀₁₇		2017-08-01 – 2017-09-25			(11.7) ₂₀₁₇	
(19) ₂₀₁₈		2018-07-09 – 2018-11-29			(11.2) ₂₀₁₈	
T [UT]	ω [°]	Ω [°]	i [°]	e	q [au]	P [yrs]
2019-03-07.76	47.775	312.395	9.368	0.0430	5.7668	14.79



29P/Schwassmann-Wachmann is a periodic comet that never approaches close to the Sun – its orbit now is nearly circular and lies outside the orbit of Jupiter. Despite being far from the Sun, comet 29P is well-known because of its outbursts that may occur even few times a year. More than 1,5 year before perihelion, comet was visible from Poland, reaching 11.7 mag on 25th September 2017. Coma diameter in August 2017 was only ~1 arcmin, extending to 3 arcmin in late September. Real diameter was steady at 250 000 km, although the last received report in 2017 estimates it to be even more than two times wider (600 000 km). As it can be seen from the comparison between the expected (red curve) and estimated magnitudes, in mid-2017 another outburst was experienced by comet 29P, strongly increasing its activity and similar incident occurred on the last quarter of 2018, when the comet reached 11.2 mag (0.5 mag more than in 2017). Its 2018 coma diameter was spectacular, too. Before the possible outburst, in the beginning of August 2018 it was only 60 000 km wide, but just 3 weeks later it was 5 times bigger. Maximum diameter of 675 000 km was observed on 31st October 2018 (vis., P. Guzik), which is even more than the year before.

Results summary

Comet	Fitted curve $H_0 + 5 \log \Delta + 2.5 n \log r$		Max. coma diameter [10^4 km]	Max. tail length [10^6 km]
21P/Giacobini-Zinner	$9.2 + 5 \log \Delta + 20 \log r (t+10)$	± 0.66	30 (ccd)/25 (v)	1.25 (v, ccd)
24P/Schaumasse	–	–	17 (v)	–
29P/Schwassmann- Wachmann	–	–	67.5 (v)	–
37P/Forbes	–	–	9 (v)	–
38P/Stephan-Oterma	$6 + 5 \log \Delta + 20 \log r$	± 0.41	19 (v)	0.3 (ccd)
46P/Wirtanen	$9.2 + 5 \log \Delta + 22.5 \log r$	± 0.42	32 (v)	–
48P/Johnson	–	–	10 (ccd)/7 (v)	–
62P/Tsuchinshan	–	–	19.5 (ccd)/15 (v)	–
64P/Swift-Gehrels	$6 + 5 \log \Delta + 30 \log r (t-45)$	± 0.52	33 (v)	–
78P/Gehrels	–	–	12.5 (v)	–
185P/Petrew	–	–	11.5 (v)	–
C/2015 O1 (PanSTARRS)	–	–	23 (ccd)/14 (v)	–
C/2016 M1 (PanSTARRS)	$6.1 + 5 \log \Delta + 7.5 \log r$	± 0.37	32 (v)	–
C/2016 N6 (PanSTARRS)	$9.1 + 5 \log \Delta + 2.5 \log r$	± 0.37	23 (ccd)/16 (v)	0.7 (ccd)
C/2016 R2 (PanSTARRS)	$4 + 5 \log \Delta + 12.5 \log r$	± 0.4	31 (v)	1.75 (v)
C/2017 M4 (ATLAS)	–	–	29 (ccd)/12 (v)	–
C/2017 S3 (PanSTARRS)	–	–	32 (ccd)/27 (v)	–
C/2017 T1 (Heinze)	$12.1 + 5 \log \Delta + 17.5 \log r$	± 0.3	20 (v)	0.15 (v)
C/2018 L2 (ATLAS)	–	–	27 (v)	–
C/2018 N1 (NEOWISE)	–	–	18 (ccd)/10 (v)	–
C/2018 V1 (Machholz- Fujikawa-Iwamoto)	$9 + 5 \log \Delta + 2.5 \log r$	± 0.57	34 (ccd)/21.5 (v)	–
Full object designation	t – perihelion date	Fitting residuals	(ccd/visual)	(ccd/visual)

Naturally, presented estimates are strongly correlated with number and quality of observational data. In first part of this article representative group of 6 objects were chosen to discuss their basic physical properties.

Complete summary will be published in SOK PTMA bulletin ‘Komeciarz’ No. 51 (in Polish).

References

- [1] *The ICQ Comet Information Website*, www.icq.eps.harvard.edu
- [2] *Comet Observation database (COBS)*, www.cobs.si/analysis
- [3] *Schweifstern – Mitteilungsblatt der VdS-Fachgruppe Kometen Nr. 171*
- [4] Kronk G.W., *Cometography*, Cambridge University Press

Orbital data: *Minor Planet Center*

Software used for calculations: *Comet* [author: Yoshida S.]

Gabriel MURAWSKI

SOTES Private observatory, Suwałki, Poland

The discovery of eleven nova-like VY *Scl* type stars

Abstract

I present the discovery of eleven previously unknown NL/VY type variables found via data-mining method around hot sub-luminous blue stars. The survey is meant to increase the number of nova-like targets showing deep fadings for further investigation via photometric and spectroscopic follow-up observations.

Introduction

The progenitor of nova-like variables (NL) with deep fadings is VY *Sculptoris* (Burrell et al. 1973). Variable Star Index (VSX) currently lists 102 of NL/VY stars and 32 candidates. Nova-like variables can be found around hot sub-luminous blue stars. Photometric and astrometric observations by Gaia revealed about 39 thousands of such stars brighter than $V=19$ magnitude, as presented in the recent catalog (Geier et al. 2019). New variable stars can be found via data mining method, by checking the most promising targets. With archival data, it is possible to find many previously unknown variables that have been missed by automatic processes. Current algorithms work best on periodic changes of brightness, but are often inaccurate on irregular and occasional phenomena, which are skipped. In the next section I describe the method used to find new variables. In subsequent section I describe each NL/VY variable that has been found.

Searching method

I used ASAS-SN Sky Patrol (Shappee et al. 2014 and Kochanek et al. 2017) and CRTS (Drake et al. 2009) survey data to retrieve photometric observations of targets presented in the catalog of sub-luminous stars (Geier et al. 2019). Only targets with magnitude errors higher than 0.005 magnitude in Gaia G band were checked, as it's an indication of possible high amplitude variability. There have been 938 stars to be analysed. ASAS-SN is an all-sky survey and light curves only of objects $G < 17$ mag were manually requested through ASAS-SN Sky

Patrol. CRTS has photometric data unavailable for low galactic latitude regions, and in result, not every target could be checked. NL/VY stars show high amplitude variability, thus archive POSS-II plates were also used for the analysis (Lasker et al. 1996). After having all the data downloaded, with visual inspection I marked thirteen stars as possible NL/VY type objects. It is possible that many other found nova-like stars show fading phenomena, but no such events happened in available ASAS-SN and CRTS timespan. After rejection of other variable types and known stars already listed in the Variable Star Index database, the survey revealed nine new NL/VY stars and two with uncertain classification. Two other candidates have too low amplitudes to apply such classification (nova-like stars without deep dimmings of amplitude above 1 mag in V-band or CV-band), so they are not included in the paper. All these variable stars have been published to the VSX database with main identification names starting from MGAB-V195 to MGAB-V197 (in January 2019) and MGAB-V201 to MGAB-V208 (in August 2019).

If photometric data is available from both surveys, CV measurements by CRTS are shifted to V-band values from ASAS-SN data by difference of average values during maxima. In addition, I used ASAS-SN g-band photometry data only in case when it's necessary to present VY Scl-like fading that was observed through this filter. Some stars however, especially in Milky Way region, might be blended with several faint stars in the background. Deblending was not applied in any case, as CRTS and ASAS-SN magnitudes are not contaminated by any bright objects inside their photometric aperture. Names, positions, magnitudes and color indexes are presented in Tab. 1. It also shows J-K values from 2MASS (Cutri et al. 2003), B-V from APASS (Henden et al. 2015) and BP-G from Gaia DR2 release (Gaia Collaboration, Brown et al. 2018). If NL/VY classification of a specified target is uncertain, it is explained in the next section.

Tab. 1. Literature and variability ranges of nova-like VY Scl stars presented in this paper. Indexes marked as bold are uncertain.

Target name from literature	MGAB name	Gaia DR2 position	Magnitude range	Uncertain classification	J-K (2MASS)	B-V (APASS)	BP-G (Gaia DR2)
GSC 07196-00489	MGAB-V195	10 22 05.25 -35 37 56.0	13.8 (V) - <18.8 (CV)	No	0.23	0.03	0.00
CD-35 9665	MGAB-V196	14 37 39.71 -36 13 25.8	12.3 (V) - 18.5 (CV)	No	0.09	0.02	-0.05
GSC 06742-00051	MGAB-V197	14 13 50.22 -29 53 23.1	14.3 (V) - 17.5 (V)	No	0.41	0.07	-0.02
2MASS J06275107-5345181	MGAB-V201	06 27 51.08 -53 45 17.7	16.7 (CV) - 18.8 (CV)	Yes	0.80	0.02	-0.05

Target name from literature	MGAB name	Gaia DR2 position	Magnitude range	Uncertain classification	J-K (2MASS)	B-V (APASS)	BP-G (Gaia DR2)
GSC 07668-01706	MGAB-V202	08 18 08.73 -42 34 16.8	13.9 (V) – 17.2 (R)	Yes	0.34	0.07	0.00
2MASS J06141482-2504359	MGAB-V203	06 14 14.83 -25 04 36.2	16.3 (V) – 19.5 (V)	No	-0.05	0.18	0.03
2MASS J21490305+3459055	MGAB-V204	21 49 03.08 +34 59 05.7	15.8 (V) – <17.6 (g)	No	0.48	0.28	0.05
2MASS J17301973+1202522	MGAB-V205	17 30 19.74 +12 02 52.3	15.4 (V) – 18.5 (V)	No	0.33	0.21	-0.13
2MASS J16272354-6233286	MGAB-V206	16 27 23.55 -62 33 28.7	14.4 (V) – 19.4 (B)	No	0.22	N/A	0.03
2MASS J03582954-5446411	MGAB-V207	03 58 29.55 -54 46 41.2	15.8 (V) – 18.0 (CV)	No	0.97	-0.09	-0.04
2MASS J15060334-7355303	MGAB-V208	15 06 03.36 -73 55 30.4	15.3 (V) – 16.9 (V)	No	0.21	N/A	0.05

Photometric results

GSC 07196-00489 = MGAB-V195

The first identified new nova-like VY Scl variable, located in Antlia constellation. Three fadings have been observed – a single one by ASAS-SN and two by CRTS (Fig. 1). Based on POSS-II survey in 1993–1995, the star looks faded on red plate compared to blue one, suggesting a fourth event. The largest decrease of brightness was observed by CRTS, based on four measurements at the same night. The target could be fainter, which makes the magnitude range uncertain.

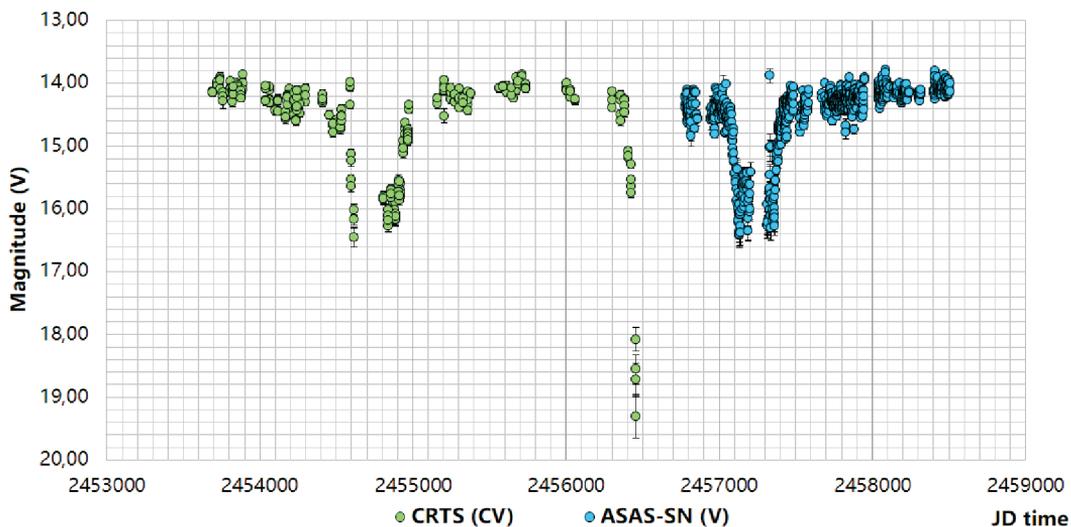


Fig. 1. Light curve with CRTS and ASAS-SN data. Three VY *Scl*-like fadings observed at JD=2454700, 2456450 and 2457250. Archive POSS-II plates showing high variability of GSC 07196-00489 when compared blue (left) and red (right) plates.

CD-35 9665 = MGAB-V196

The brightest target out of all six NL/VY variables, also with the largest amplitude of $\Delta=6.2$ magnitude in CV. Only one dimming event was observed so far, in the beginning of CRTS timespan (Fig. 2). For the next 13 years, MGAB-V196 kept varying with amplitude up to 0.4 mag. Target has been spectroscopically identified as an OB+ star (Drilling et al. 1995) and ROSAT X-ray source (Voges et al. 2000).

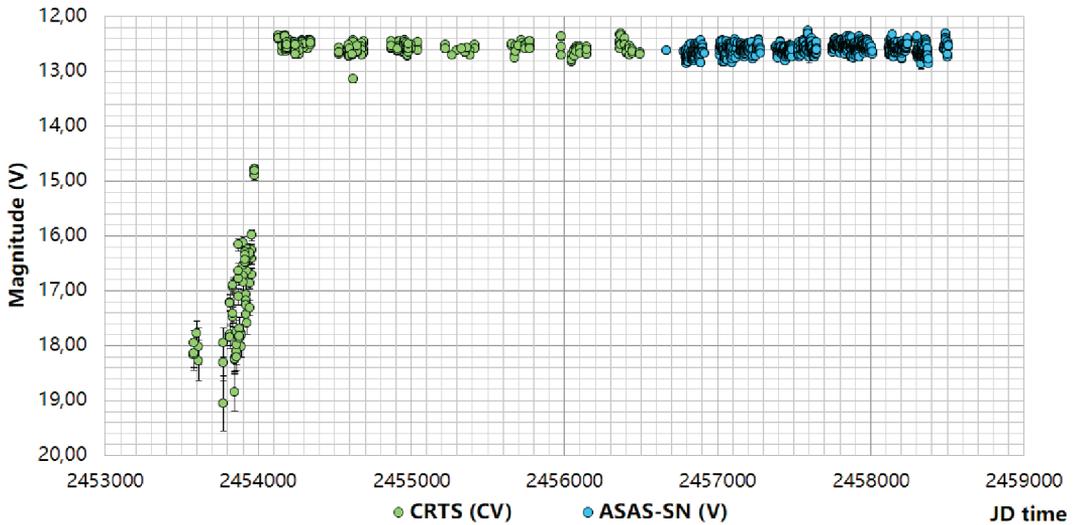


Fig. 2. JD plot with CRTS and ASAS-SN data. Single VY *Scl*-like fading observed at JD=2453700.

GSC 06742-00051 = MGAB-V197

Target identified as NL/VY type variable in Milky Way region, thus only ASAS-SN data is available. A single U-shaped fading was seen through both V and g filters (Fig. 3).

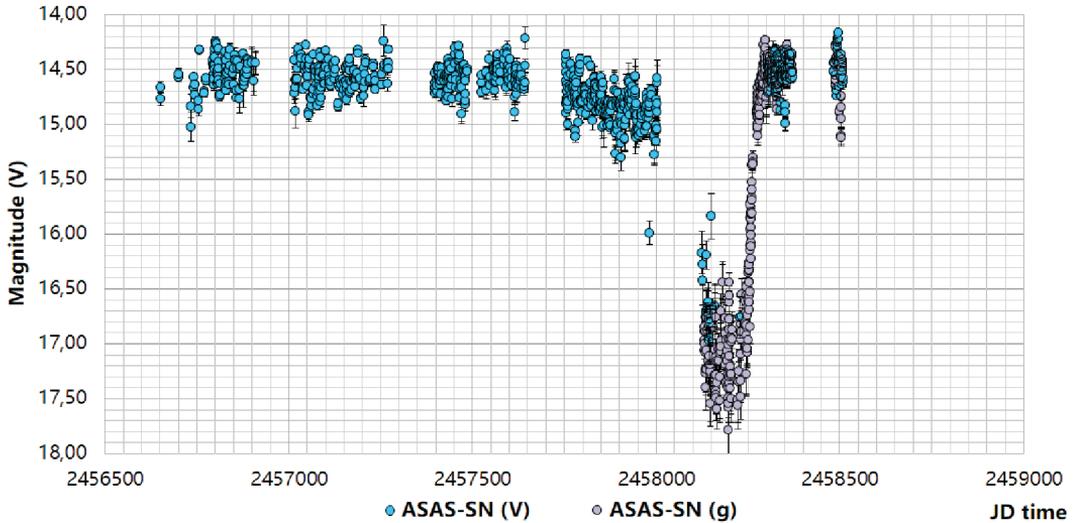


Fig. 3. JD plot with CRTS and ASAS-SN data. Single VY *Scl*-like fading observed at JD=2453700.

2MASS J06275107-5345181 = MGAB-V201

Target is too faint for ASAS-SN, but several fading phenomena were observed by CRTS with depth up to 1.5 magnitude in CV (Fig. 4). I used *Period04* software (Lenz and Berger 2005) to check if these have an eclipsing binary origin. Periodogram output shows no clear peak, however the most significant one (at 0.373095d) gives a hint of data points concentrating

nearly at the same phase (Fig. 5). The value is much above 3–4 hours orbital period seen around NL/VY stars (Warner 1999) and ETV-like behaviour is too large to suggest an eclipsing body, thus dimmings are related to VY *Scl* variability. The target is close to *Canopus*, separated by 73 arcminutes.

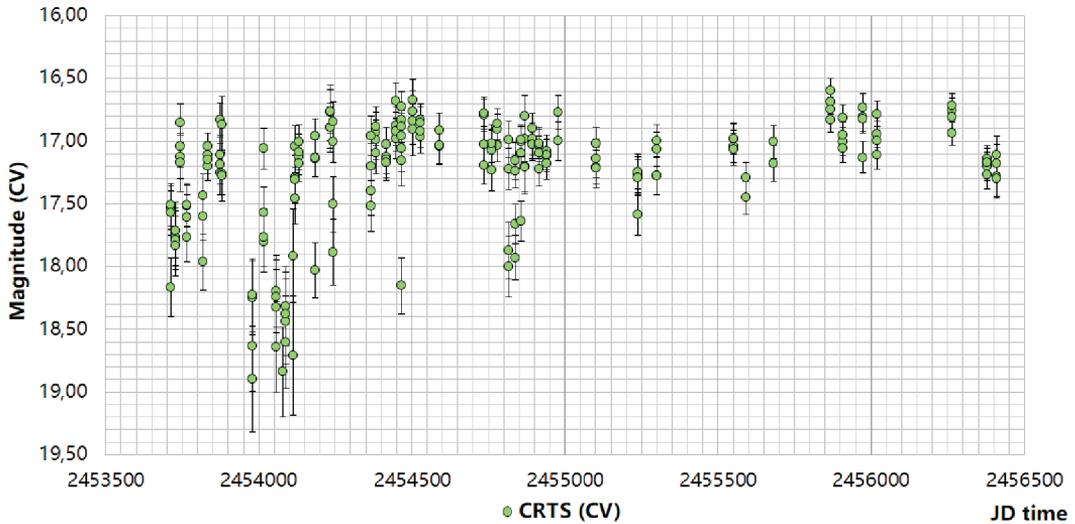


Fig. 4. JD plot with CRTS data. Possible VY *Scl*-like fading observed at JD=2454000.

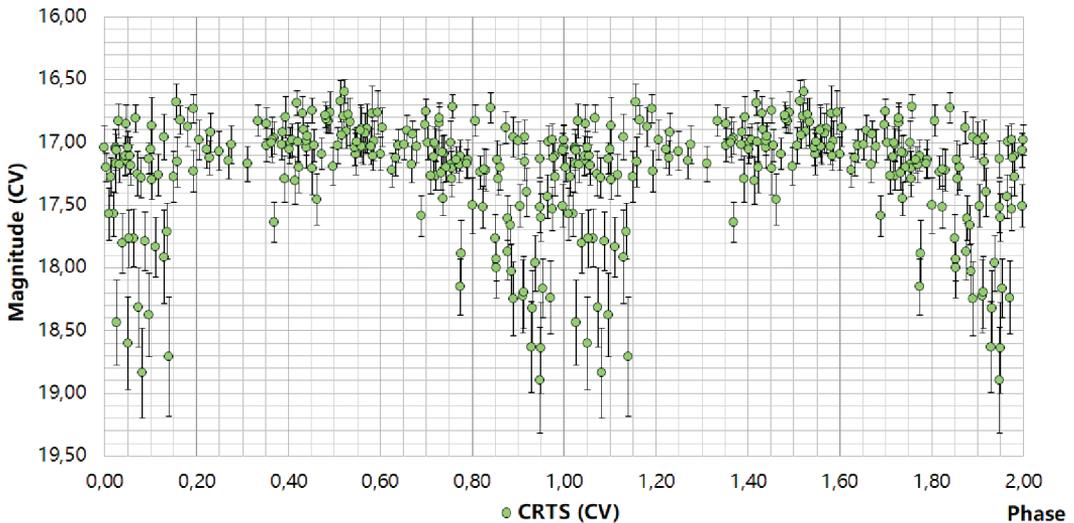


Fig. 5. Phase plot with CRTS data for potential 0.373095d period.

GSC 07668-01706 = MGAB-V202

Target with only ASAS-SN data available. No fadings have been observed, but high variability is seen (Fig. 6), similar to MGAB-V195 or MGAB-V196 during maximum. Archive

POSS-II images show a clear magnitude drop on red plate compared to blue one, indicating possible VY Scl-like variability. Minimum magnitude in Tab. 1 given from the USNO-A2.0 catalog (Monet 1998).

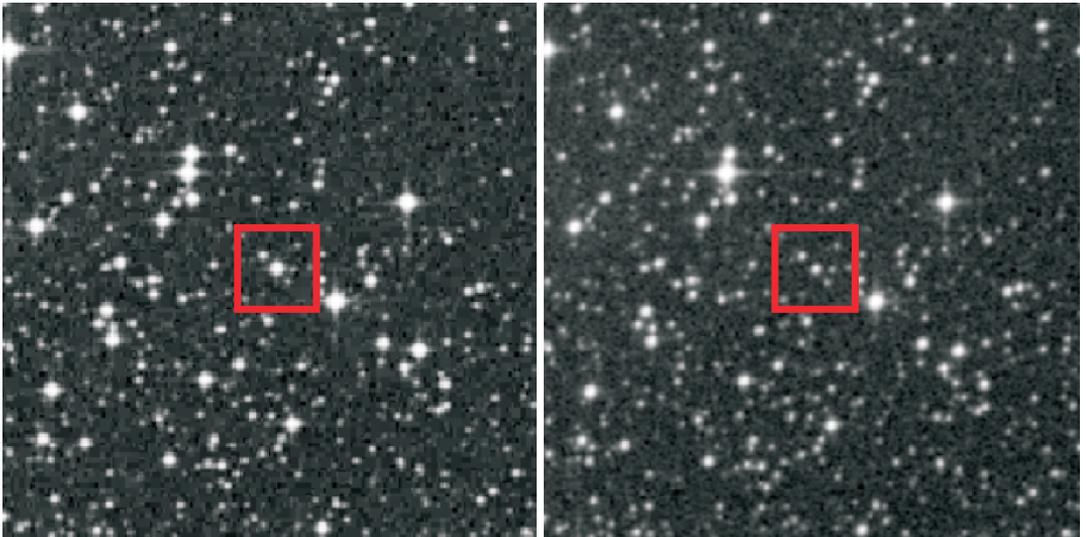
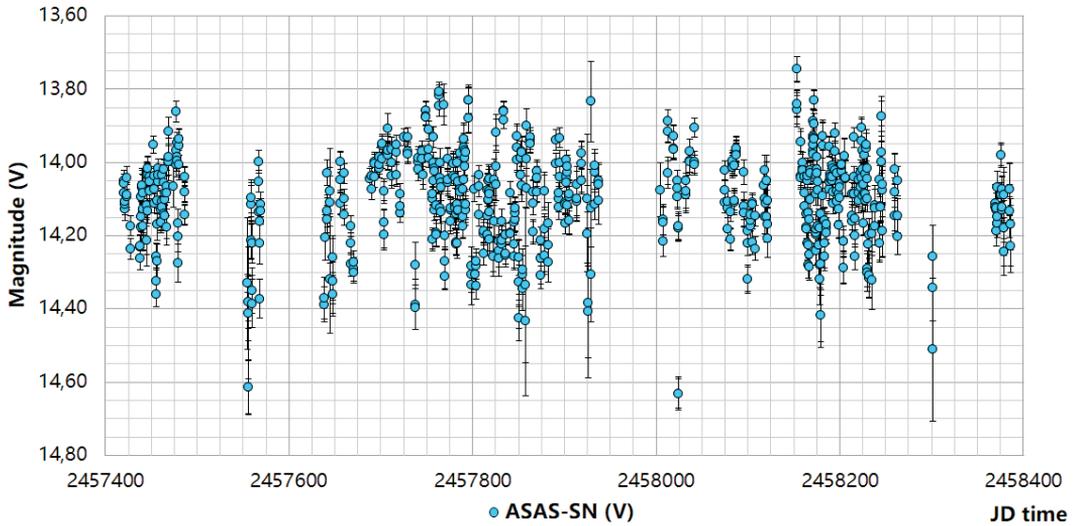


Fig. 6. Light curve with ASAS-SN data in V band. Nova-like variability is seen without any deep fades. Archive POSS-II plates showing high variability (left: blue, right: red).

2MASS J06141482-2504359 = MGAB-V203

This object shows highly repetitive fading events lasting for days (based on ASAS-SN in 2018) and months (CRTS data), as seen in Fig. 7. Such cases require a period check for an eclipsing binary test. However, in this object, there are no periodic events found.

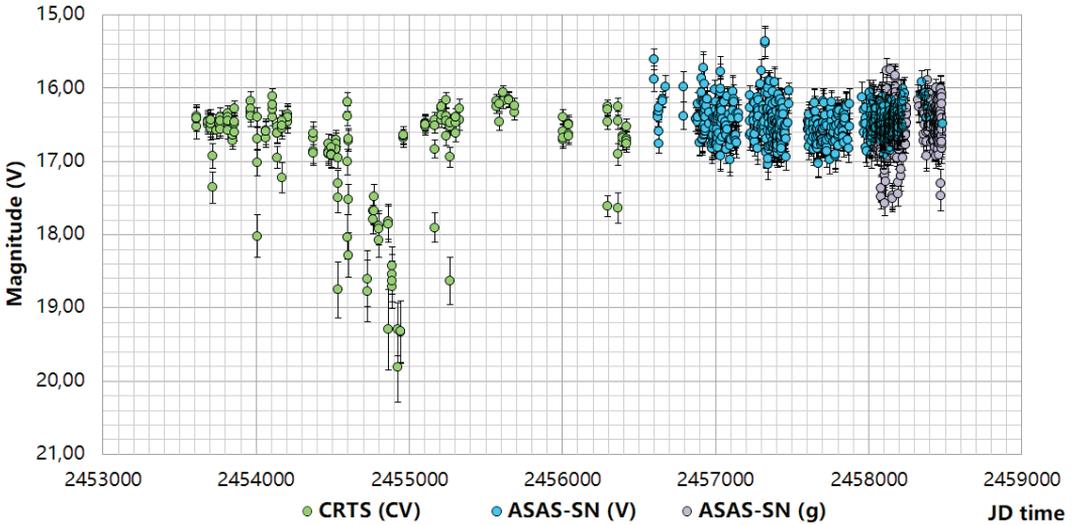


Fig. 7. JD plot with ASAS-SN and CRTS data. High amplitude fading seen around JD=2454800.

2MASS J21490305+3459055 = MGAB-V204

Target remained at maximum brightness until 2018, when a deep fading appeared (Fig. 8). Additionally, ‘fainter than’ observations were added to the plot, as ASAS-SN did not detect during its minimum. CRTS data are unavailable.

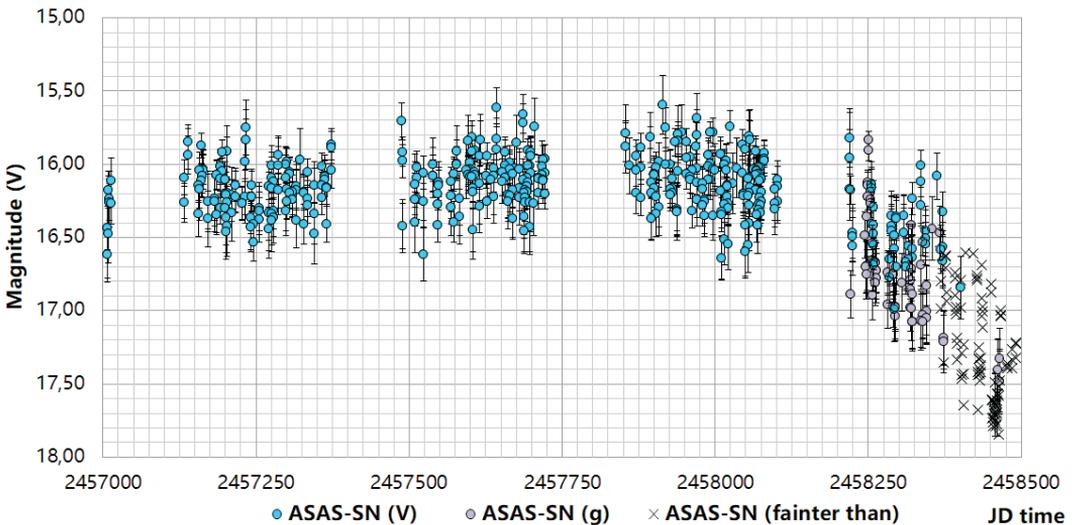


Fig. 8. JD plot with ASAS-SN data. Given ‘fainter than’ observations in 2018 are for V and g band.

2MASS J17301973+1202522 = MGAB-V205

Rapid fading and rising with amplitude higher than 1 magnitude was observed by ASAS-SN in 2017 and 2018 (Fig. 9). ‘Fainter than’ measurements from 2017 and 2018 were added to

the plot. During the deep fade, a single series of observations taken at JD=2457495 by CRTS were done, showing a fade down to V=18.5 magnitude. Object identified as ROSAT X-ray source.

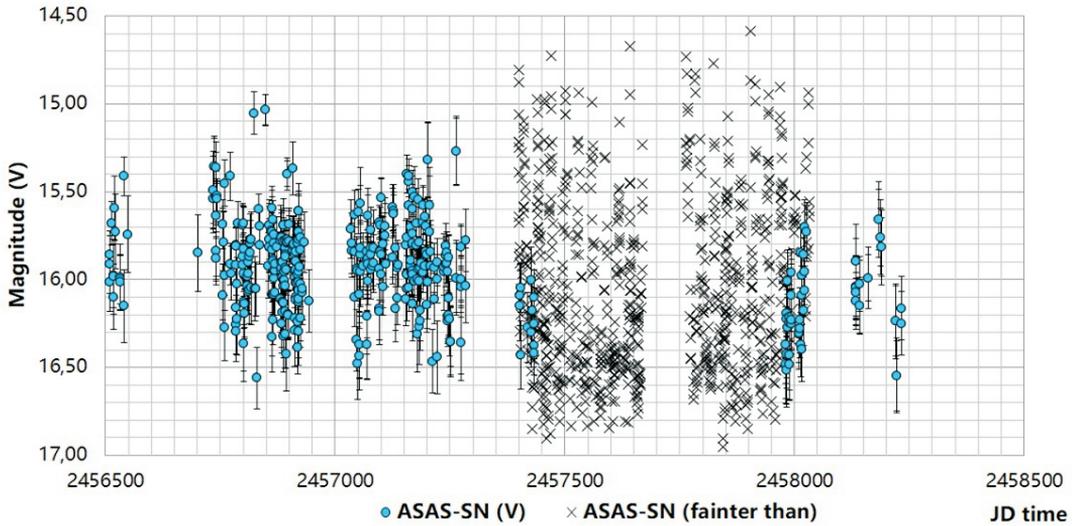


Fig. 9. JD plot with ASAS-SN data. ‘Fainter than’ observations from 2017 and 2018 have been added.

2MASS J16272354-6233286 = MGAB-V206

First noticed on 23rd of January 2019; independently found by Mariusz Bajer two days later. This object shows a deep fading in the beginning of ASAS-SN data (Fig. 10). Archive POSS-II images also show a deep magnitude drop on blue plate compared to red one, which is a result of VY Scl-like variability. During maximum, MGAB-V206 varies with amplitude of 0.8 mag in V band, but occasional little drops may appear, as seen around JD=2457950. Minimum magnitude given from USNO-A2.0 catalog.

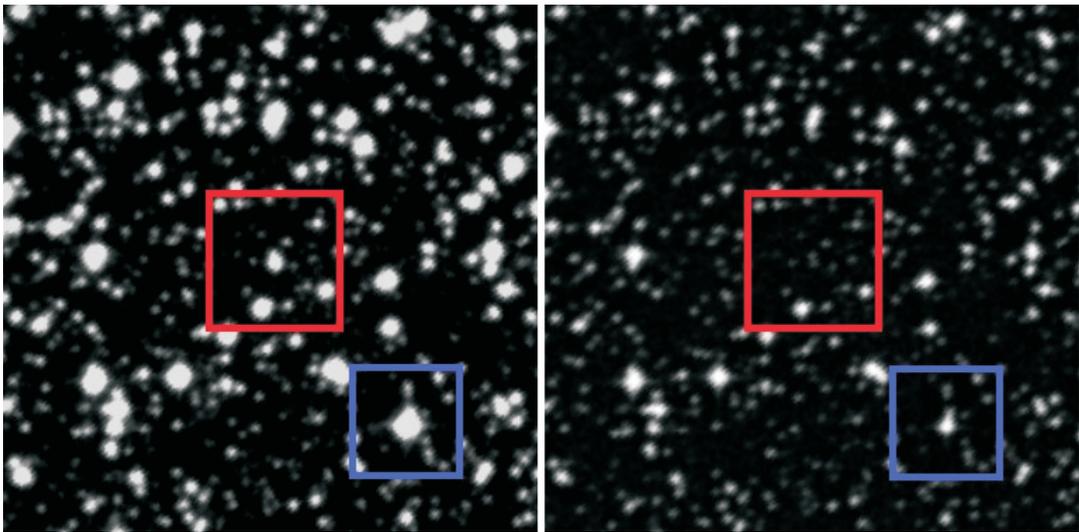
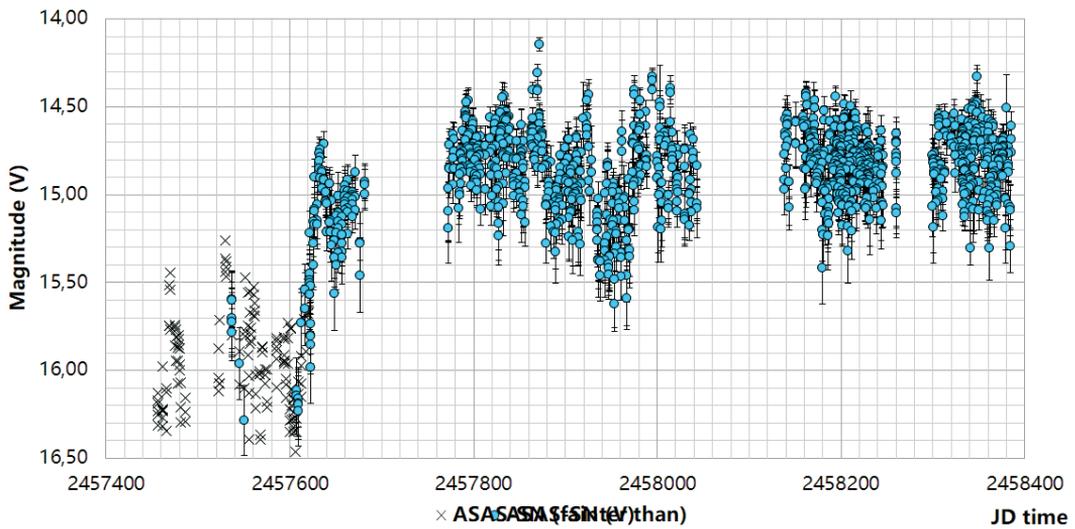


Fig. 10. JD plot with ASAS-SN data. A deep fading with amplitude larger than 1.2 mag (V) was observed in 2016. Archive POSS-II plates showing large variability (left: red, right: blue). Target marked by smaller square is a known long period variable KL *TrA*.

2MASS J03582954-5446411 = MGAB-V207

Short-lasting fade with depth of ~ 1.5 mag (CV) observed by CRTS. At maximum, object varies with amplitude up to 1 mag (V), as seen in Fig. 11. A dimming event is clearly seen in the plot, with high amplitude variations of NL-type variability. Target is spectroscopically confirmed as sdB type (Kilkenny et al. 2015).

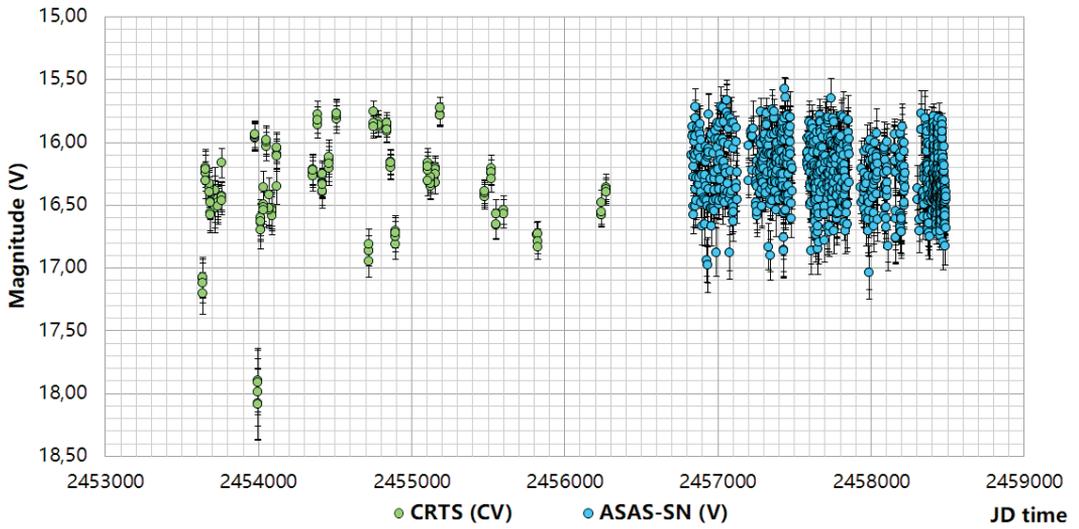


Fig. 11. JD plot with CRTS ASAS-SN data. Target appears to fade near JD=2454000.

2MASS J15060334-7355303 = MGAB-V208

Nova-like variable that undergone a series of fadings in mid-2015. ASAS-SN detected brightness drop with amplitude up to 1 mag in V band (Fig. 12).

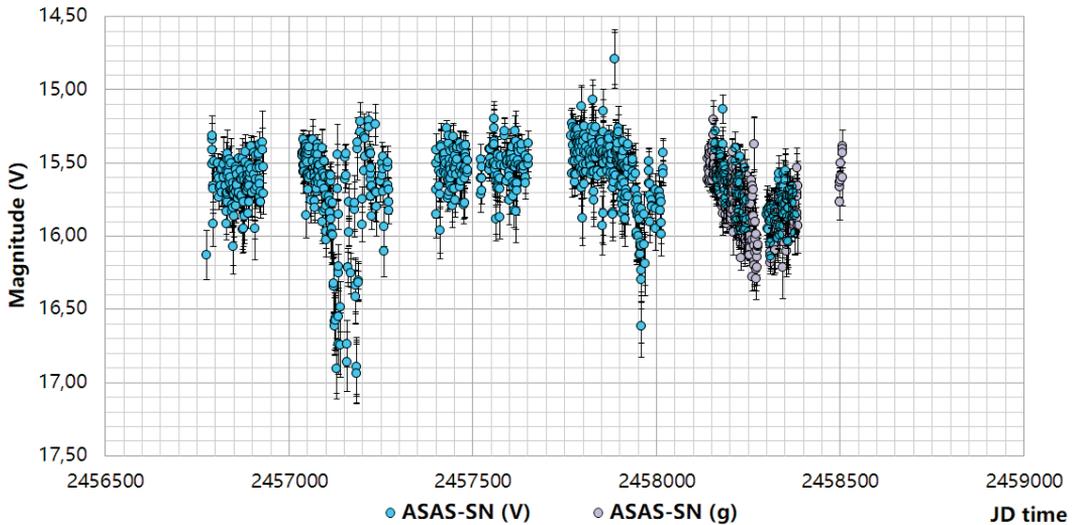


Fig. 12. JD plot with ASAS-SN data. Fadings up to 1 magnitude (V) visible near JD=2457150.

Conclusion

The survey has revealed more than 100 hundred variables, where eleven objects were classified as nova-like VY Scl stars based on photometric data. After rejection of known variables from the VSX database, I found that most of new NL/VY stars are located in the southern

hemisphere. This concludes that hot subluminous stars in northern hemisphere had already been well studied and discovered earlier. Many targets in the catalog of hot sub-luminous stars show significant scatter on their light curves, indicating good NL/VY candidates during quiescence, but no dimming events had been observed yet. Follow-up photometric and spectroscopic observations for all presented targets are encouraged to confirm NL/VY nature of MGAB-V201 and MGAB-V202, as well as monitor all objects for more VY *Scl*-like phenomena.

References

- Burrell, J.F., Mould, J.R., 1973, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol. 85, p. 627.
- Cutri, R.M. et al., 2003, The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive. <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/Gator/>
- Drake, A.J. et al., 2009, The Astrophysical Journal, vol. 696, is. 1, pp. 870-884.
- Drilling, J.S., Bergeron, L.E., 1995, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol. 107, p. 846.
- Gaia Collaboration, Brown, A.G.A., et al., 2018, Astronomy & Astrophysics, vol. 616, id. A1, 22 pp.
- Geier, S. et al., 2018, Astronomy & Astrophysics, vol. 621, id.A38, 13 pp.
- Henden, A.A. et al., 2015, American Astronomical Society, AAS Meeting #225, id.336.16.
- Kilkenny, D. et al, 2015, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 453, is. 2, pp. 1879-1887.
- Kochanek, C.S. et al., 2017, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 129, Issue 980, pp. 104502
- Lasker, B.M. et al., 1996, Astronomical Data Analysis Software and Systems V, A.S.P. Conference Series, vol. 101, 1996, Jacoby G.H. and Barnes J. eds., p. 88.
- Lenz, P., Breger, M., 2005, Comm. in Asteroseismology, 146, 53.
- Monet, D.G., 1998, American Astronomical Society, 193rd AAS Meeting, id.120.03; Bulletin of the American Astronomical Society, vol. 30, p. 1427.
- Shappee, B.J. et al., 2014, The Astrophysical Journal, vol. 788, is. 1, article id. 48, 13 pp.
- Voges, W. et al., 2000, IAU Circ., no. 7432, #3 (2000). Edited by Green, D. W. E.
- Warner, B., 1999, Annapolis Workshop on Magnetic Cataclysmic Variables, ASP Conference Series, vol. 157, Hellier C. and Mukai K. eds., p. 63.

AGNIESZKA NOWAK¹, MAREK SUBSTYK²

¹ Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii Oddział Krakowski, ul. Miodowa 13a/35, 31-055 Kraków, agnieszka.nowak@ptma.pl

² Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii Oddział Katowicki, ul. Karola Miarki 15a/6, 41-500 Chorzów, marek.substyk@ptma.pl

Całkowite zaćmienie Słońca, 21 sierpnia 2017 roku, Wyoming, USA

Wprowadzenie

Obserwacje i rejestracja całkowitego zaćmienia Słońca wykonane były w ramach Wielkiej Wyprawy PTMA do USA. Głównym celem było oczywiście to zjawisko. Przygotowania trwały kilka lat. Wybierając miejsce obserwacji zaćmienia braliśmy pod uwagę głównie statystyki pogodowe, aby mieć jak największe szanse na udane obserwacje. Zaćmienie rejestrowaliśmy przy użyciu aparatów *Canon EOS 700D* i *Nikon 5300*, obiektywów: *Rubinar 500/5,6* i *Tamron 150-600 mm*, na statywie fotograficznym oraz głowicy *Sky Watcher Star Adventurer* oraz program do automatycznego fotografowania zaćmienia *Eclipse Orchestrator*.

Pas zaćmienia całkowitego o maksymalnej szerokości 114,7 km przechodził wyłącznie przez terytorium Stanów Zjednoczonych. Zaćmienie w formie częściowej było obserwowane w całej Ameryce Północnej i środkowej oraz w północnej części Ameryki Południowej oraz zachodnich części Europy oraz Afryki.

Trwające w całości ponad 5 godzin i 17,5 minuty zaćmienie rozpoczęło się o godzinie 15:46:48 UT a zakończyło o 21:04:20 UT. Oczywiście dla konkretnych miejsc obserwacji momenty początku i końca zjawiska były odmienne. Maksymalna faza zaćmienia trwała 2 minuty i 40 sekund na terenie stanu Kentucky, 20 km na północny-zachód od Hopkinsville.

Raport

Wybrane miejsce, czyli północne przedmieścia cechuje duże prawdopodobieństwo wystąpienia bardzo dobrych warunków pogodowych. W początkowej części zjawiska średnie zachmurzenie wynosi zaledwie 17%, aby pod koniec zjawiska osiągnąć 27%. Oczywiście to tylko statystyka. W praktyce do miejsca dotarliśmy tam z dwugodzinnym zapasem i zauważyliśmy,

że w kierunku tego miejsca nadciągają chmury i nie mieliśmy pewności, czy warunki do obserwacji i rejestracji zjawiska będą sprzyjające.

Zdecydowaliśmy się pojechać dalej na wschód. I tak po przejechaniu kilkudziesięciu kilometrów dotarliśmy do lokalnego Punktu Obsługi Podróżnego (Waltman US 20 Rest Area) leżącego 80 km na zachód od Casper. Postanowiliśmy stąd prowadzić obserwacje. Wybrany przez nas punkt był oddalony od centrum pasa zaćmienia o 7,8 km, co dawało o 3 sekundy krótszą fazę maksymalną.

Momenty kontaktów naszego miejsca obserwacji ($43^{\circ}04'30''\text{N}$, $107^{\circ}14'46''\text{W}$)

- początek zaćmienia częściowego: 16:21:07 UT, alt= $41,7^{\circ}$, az= 117° ;
- początek zaćmienia całkowitego: 17:40:59 UT, alt= $53,1^{\circ}$, az= 141° ;
- faza maksymalna (1,0125): 17:42:11 UT, alt= $53,2^{\circ}$, az= 141° – czas trwania: $2'23''$;
- koniec zaćmienia całkowitego: 17:43:22 UT, alt= $53,4^{\circ}$, az= 142° ;
- koniec zaćmienia częściowego: 19:07:28 UT, alt= $58,8^{\circ}$, az= 178° .



Fot. 1. Korona słoneczna widoczna podczas całkowitego zaćmienia Słońca; 21 sierpnia 2017, 17:42:35 UT, Nikon D5300 + Tamron 600 mm, 1/25 sek, F/8, ISO 100. Fot. Marek Substyk.

Na Słońcu tego dnia były widoczne plamy w dwóch grupach: AR 2671 i AR 2672. Poniżej momenty kontaktów z poszczególnymi plamami (czas UT):

- pierwszy kontakt z AR 2671: 16:44:07;
- ostatni kontakt z AR 2671: 16:58:24;

-
- pierwszy kontakt z AR 2672: 17:34:53;
 - ostatni kontakt z AR 2672: 17:37:22.

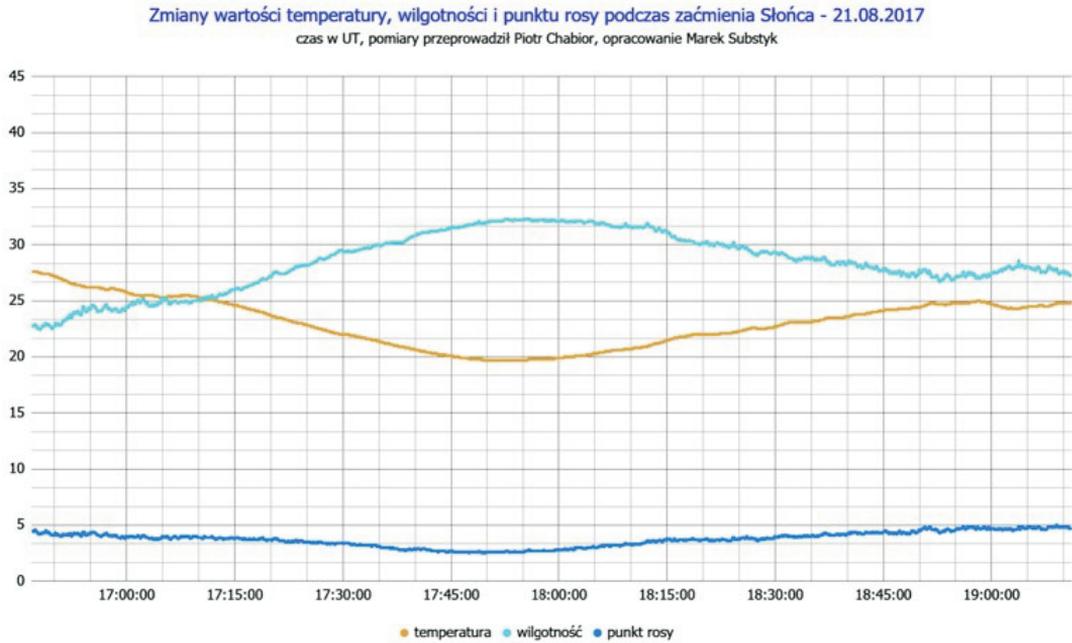


Fot. 2. Tuż przed pierwszym kontaktem z plamą AR 2671; 21 sierpnia 2017, 17:43:20 UT, Canon EOS 700D + Rubinar 500/5,6, 1/1250 sek, F/5,6, ISO 100. Fot. Agnieszka Nowak.

Dla naszego miejsca obserwacji, które nie było w samym centrum pasa, zaćmienie trwało 2 minuty i 23 sekundy. Znaleźliśmy się o 7,8 km na północ od centrum pasa, który dla naszej lokalizacji miał 108,1 km. Cień, który obserwowaliśmy poruszał się po Ziemi z prędkością 777 metrów na sekundę!

Podczas trwania zaćmienia obserwowaliśmy, jak robi się coraz ciemniej. Dosłownie widzieliśmy cień podążający od zachodu w naszym kierunku. Odczuwaliśmy także spadek temperatury. Mogliśmy podziwiać też Regulusa w odległości 1o18' od Słońca. Faza maksymalna zaćmienia trwała dla nas 2m 23,4s., natomiast całe zaćmienie 2h 46m 21s.

Obserwowane przez nas zaćmienie było 22. zaćmieniem 145. okresu saros, który rozpoczął się zaćmieniem 4 stycznia 1639 roku, a zakończy zaćmieniem 17 kwietnia 3009 roku. W trwającym ponad 1370 lat 145. okresie saros wystąpi 77 zaćmień Słońca w tym aż 41 całkowitych. W ciągu 50 wieków, w latach od -1999 do 3000 (2000 BCE do 3000 CE) przypada 11898 zaćmień Słońca w tym 4200 (35,3%) częściowych, 3956 (33,2%) obrączkowych, 3173 (26,7%) całkowitych oraz 569 (4,8%) hybrydowych.



Rys. 1. Zmiany wartości temperatury, wilgotności i punktu rosy podczas zaćmienia Słońca – 21.08.2017. Czas w UT, pomiary przeprowadził Piotr Chabior, opracowanie Marek Substyk.

Zakończenie

Dla nas było to pierwsze całkowite zaćmienie Słońca. Mieliliśmy to szczęście, że pogoda w 100% dopisała a dzięki Eclipse Orchestrator mogliśmy zarówno rejestrować zjawisko jak i je podziwiać.

Ireneusz WŁODARCZYK

Polish Amateur Astronomical Society, Powstańców Wlkp. 34, 63–708 Rozdrażew, Poland

Analysis of the orbit of the Apollo asteroid (3200) Phaethon

Abstract

I computed orbital elements of the asteroid (3200) Phaethon, based as of June 01, 2017 on all published 3729 optical observations from which 41 were discarded, and 1 radar observation. Also, non-gravitational parameters for asteroids, A_2 and for comets A_1 , A_2 , A_3 with their uncertainties were computed. Moreover, close approaches of (3200) Phaethon with terrestrial planets in the forward 15000 y integration, with- and without the Yarkovsky effect were computed together with its time evolution of orbital elements.

Key words: astrometry – minor planets, asteroids: individual: (3200) Phaethon

Introduction

The asteroid (3200) Phaethon (1983 TB) was discovered on October 11, 1983 by IRAS. It belongs to the Apollo group, comprising 8073 members as of July 10, 2017, and is one of 1805 Potentially Hazardous Asteroids (the minor planets with the greatest potential for close approaches to the Earth) as the IAU Minor Planet Center presents¹.

According to the JPL² its absolute magnitude is 14.6, radius of about 2.55 km, geometric albedo is 0.1066 and rotation period 3.604 h.

Asteroid (3200) Phaethon is dynamically interesting. According to our computations, it will pass close to the Earth on 2050-Dec-11.822 at about 0.08257 au (12.4×10^6 km).

The initial orbital elements of asteroid (3200) Phaeton

The orbit of the asteroid (3200) Phaethon was computed based on 3729 optical observations from 1983-Oct-11.06869 to 2017-Jan-30.09923, of which 41 were rejected as outliers, and 1 radar observation from 2007-Dec-08.

¹ <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Unusual.html>

² <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#\#results>

All computations were made using the *OrbFit* software³. In all our computations, we follow the same method of the weighting and selection of observations that is being used by the NEODYs site (Włodarczyk et al. 2014). 17 additional perturbing asteroids were used according to Farnocchia et al. (2013) and similar to Włodarczyk (2015).

Tab. 1. Initial nominal orbital elements of (3200) Phaethon with their 1- σ uncertainties. The angles Ω , ω and i refer to Equinox J2000.0. Epoch: 2017-Feb-16=JD2457800.5 TDB. Orbital elements are computed without and with different models of non-gravitational parameters.

a [au]	e	i [°]	Ω [°]	ω [°]	M [°]
Orbital parameters: pure gravitational					
1.27121567017830	0.8899161880103	22.24805218048	265.24122804557	322.16247206883	123.90288870349
1.71072E-09	1.37376E-08	5.46830E-06	9.63971E-06	9.07456E-06	4.68385E-06
Orbital parameters: asteroidal Yarkovsky effect with non-gravitational parameter A_2					
1.27121566600255	0.8899161755721	22.24805217754	265.24122890396	322.16247148797	123.90289238858
4.01649E-09	1.74551E-08	5.46867E-06	9.66868E-06	9.08888E-06	5.67039E-06
$A_2=(-2.04 \pm 1.78) \times 10^{-15}$ au/day ²					
Orbital parameters: cometary non-gravitational parameters A_1 , A_2 and A_3					
1.27121565993329	0.8899161886060	22.24805262761	265.2412283364	322.1624640480	123.90289641844
4.64309E-09	1.83536E-08	8.02904E-06	1.68928E-05	1.56936E-05	5.93165E-06
$A_1=(5.90493 \pm 2.22439) \times 10^{-12}$ au/day ²					
$A_2=(-1.62 \pm 1.39) \times 10^{-15}$ au/day ²					
$A_3=(-1.9466 \pm 15.1365) \times 10^{-13}$ au/day ²					

Close approaches to the Earth

I computed only one close approach of nominal orbit of Phaethon to the Earth within 0.1 au as presented in Tab. 2.

Tab. 2. (3200) Phaethon. Close approaches of nominal orbit to the Earth for different Solar System Model (SSM) in the next 50 years.

SSM	Date	Distance to the Earth (au)
GRAV	2050/12/11.82255	0.08257010
A2	2050/12/11.82246	0.08257233
A1, A2, A3	2050/12/11.82243	0.08257226

Next, I propagated nominal orbit of the asteroid Phaethon in the future to 15999 years. The results are presented in Fig. 1–3.

The reason for such rapid change in the semimajor axis of asteroid Phaethon is its deep approach to the Earth around 15800 at distance of about 0.005 au ($2 \times$ lunar distance) regardless of the Solar System Model used from Tab. 2.

³ <http://adams.dm.unipi.it/~orbmain/orbfit/>

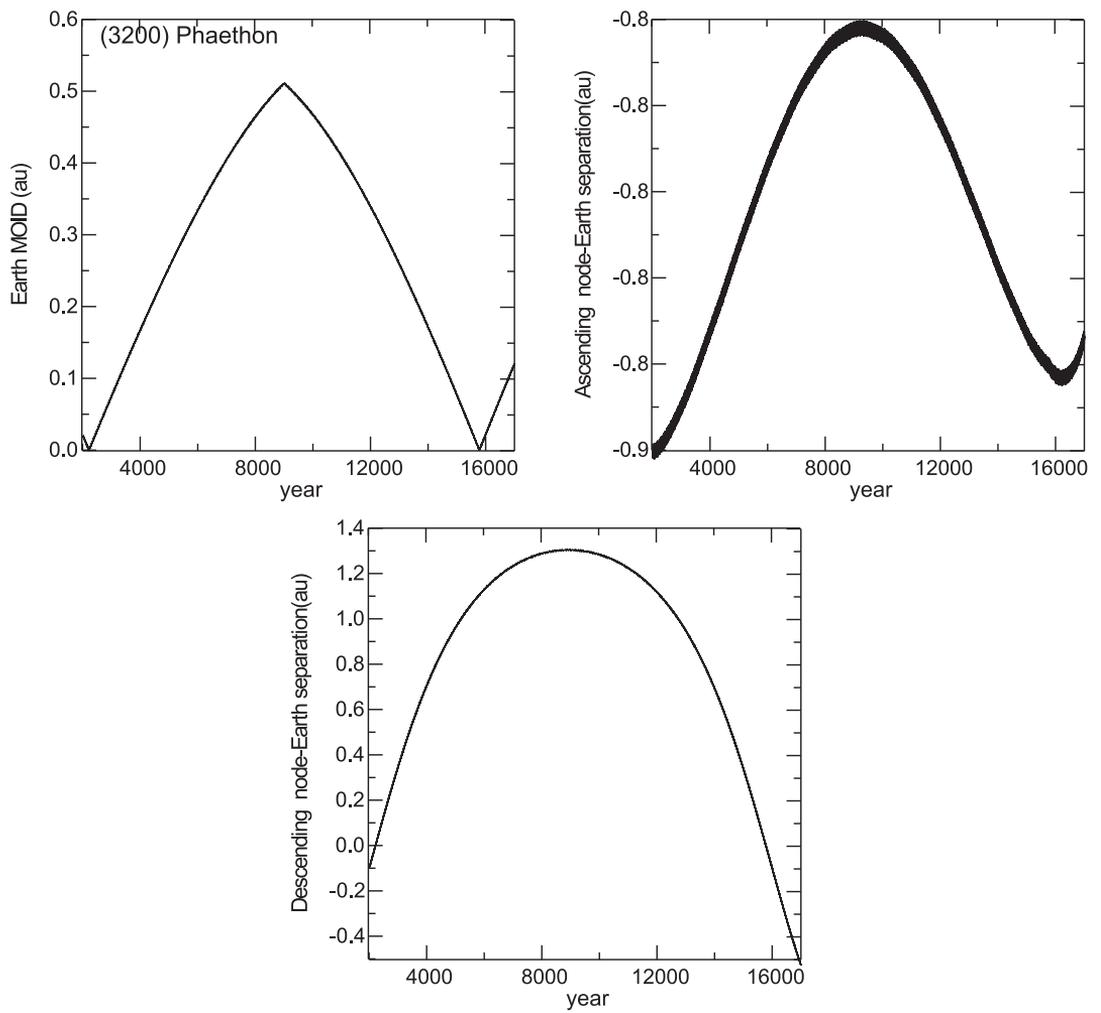


Fig. 1. Earth Minimum Orbital Intersection Distance (MOID) and ascending and descending – Earth separation of the nominal orbit of Phaethon.

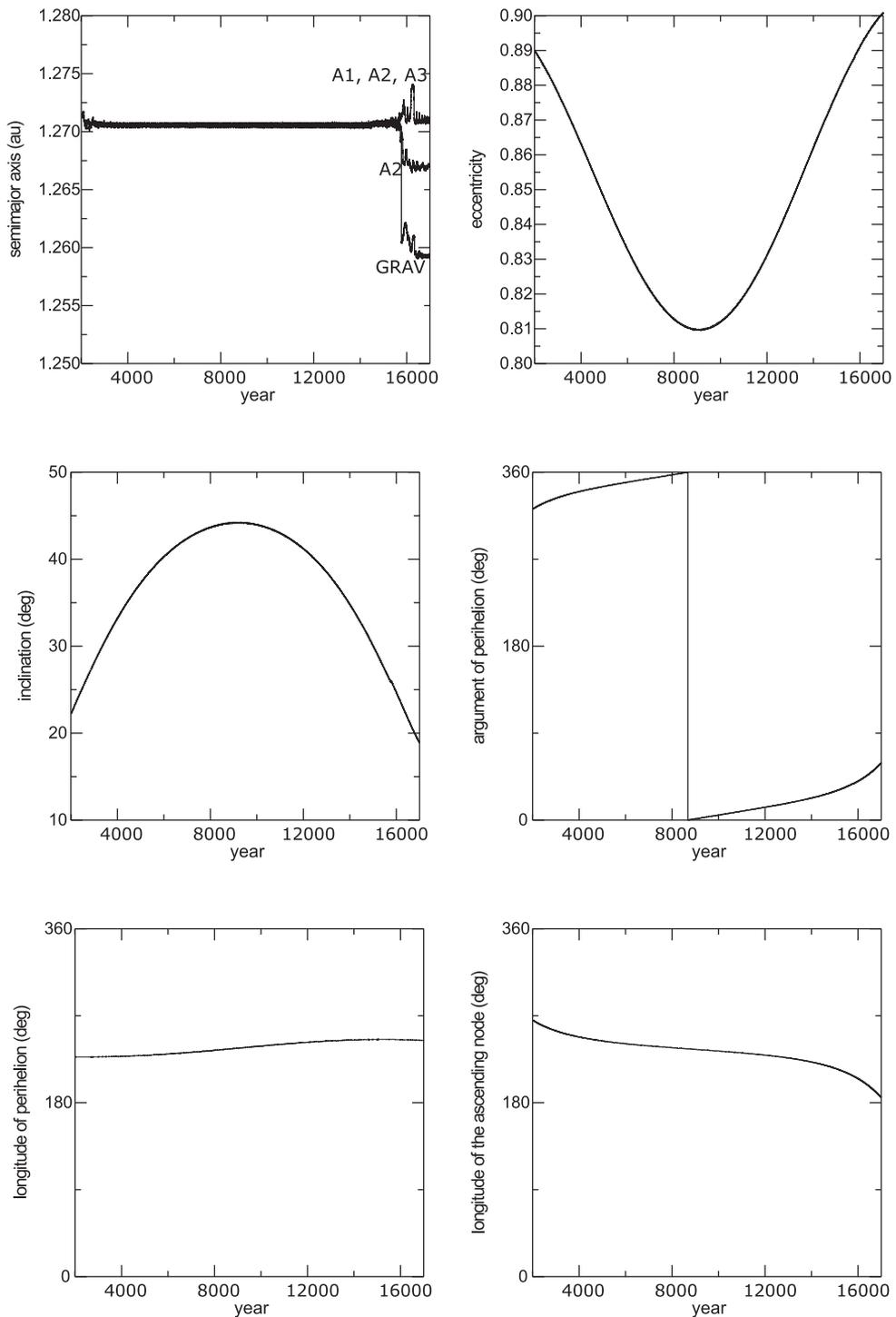


Fig. 2. (3200) Phaethon. Orbital evolution of the nominal orbit for different non-gravitational parameters and for pure gravitational case 15000 years in the future. Only differences in semimajor axis are well visible.

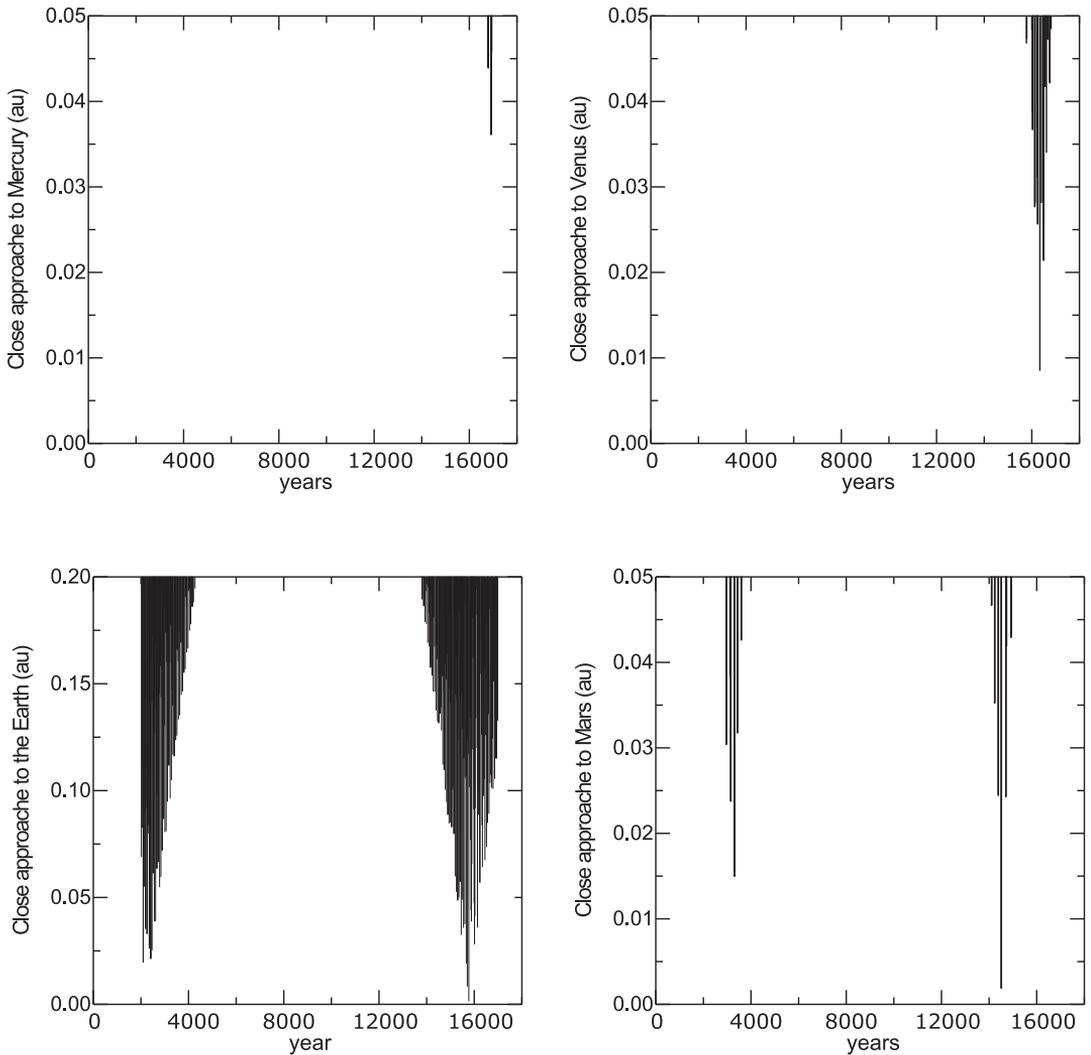


Fig. 3. (3200) Phaethon. Close approaches of the nominal orbit with terrestrial planets for pure gravitational model.

Summary

I computed orbital elements of the asteroid (3200) Phaethon together with non-gravitational parameters for asteroids, $A2$ and for comets $A1$, $A2$, $A3$ with their uncertainties. Moreover, I computed close approaches of (3200) Phaethon with terrestrial planets in the forward 15000 y integration, with- and without the Yarkovsky effect.

Acknowledgements

I would like to thank the Space Research Center of the Polish Academy of Sciences in Warsaw for the possibility to work on computer cluster.

References

- Farnocchia, D., Chesley, S. R., Chodas, P. W., Micheli, M., Tholen, D. J., Milani, A., Elliott, G. T., Bernardi, F., 2013, *Icarus*, 224, 192.
- Włodarczyk, I., Cernis, K., Boyle, R. P., Laugalys, V., 2014, *MNRAS*, 438, 2621.
- Włodarczyk, I., 2015, *AcA*, 65, 215-231.

Agata CHUCHRA

Centrum Badań Kosmicznych PAN, ul. Bartycka 18A, 00-716 Warszawa, agatka.chuchra@gmail.com

Kriowulkanizm i tektonizm na Europie i Enceladusie

Streszczenie

W Układzie Słonecznym odkryto do tej pory 213 księżyców [15]. Wiele z nich wykazuje niezwykle cechy i zachowania, które czynią je nie mniej interesującymi od planet. Jeśli chodzi o oddziaływanie grawitacyjne Słońce ma w Układzie Słonecznym dominującą rolę. Jednak sześć planet zdołało wokół siebie utworzyć własne, miniplanetarne systemy, w których na orbitach znajdują się ich naturalne satelity. Każda z tych planet utrzymuje na orbicie od jednego do kilkudziesięciu księżyców, mimo iż Słońce stara się je „uwolnić”. Brak satelitów wokół Merkurego i Wenus jest spowodowany ich niewielką odległością od Słońca i wpływem jego grawitacji. Za pasem planetoid, oddzielającym planety skaliste od planet gazowych, grawitacja słoneczna jest słabsza i z tego powodu planety zewnętrzne cechuje duża liczebność orbitujących wokół nich różnorodnych księżyców, na które mogą silnie oddziaływać. Wpływ planet olbrzymich na okrążające satelity sprawia, że niektóre z nich są stale aktywne geologicznie.

Celem niniejszej pracy jest analiza procesów zachodzących na Europie, księżycu Jowisza, i Enceladusie, księżycu Saturna, na podstawie informacji o własnościach fizycznych i budowie wewnętrznej tych księżyców oraz oddziaływań pomiędzy tymi satelitami, ich macierzystymi planetami i innymi księżycami.

Wstęp

Europa jest najmniejszym spośród galileuszowych księżyców Jowisza. Jej średnica mierzy 3130 km, średnia gęstość ma wartość $3,01 \text{ g/cm}^3$, a masa $4,79 \cdot 10^{22} \text{ kg}$. Dzieli się na jądro bogate w żelazo, skalny płaszcz, warstwę wody oraz skorupę złożoną z lodu wodnego. Niektóre badania sugerują, że Europa obraca się szybciej, niż krąży po orbicie wokół Jowisza (rotacja niesynchroniczna), co może wskazywać na asymetrię w rozkładzie masy we wnętrzu tego księżycyca i prawdopodobnie wynika z obecności podpowierzchniowej warstwy cieczy. Dowody na podpowierzchniowy ocean są w dużej mierze oparte na pomiarach magnetometrycznych. Potężne pole magnetyczne Jowisza jest przechylone o 10° w stosunku do płaszczyzny równi-

kowej planety, w której obracają się satelity. W efekcie księżyc Jowisza doświadczają pola magnetycznego planety, jako zmiennego w czasie. Europa, co 5,6 godziny (połowa okresu synodycznego) znajduje się naprzemiennie powyżej i poniżej równika magnetycznego centralnej planety. Magnetometr na pokładzie sondy Galileo zmierzył strumień magnetyczny w pobliżu Europy, który na przemian odwracał się, by sprzeciwić się zewnętrznemu polu magnetycznemu Jowisza. Oznacza to, że Europa zachowuje się jak przewodnik, wytwarzając indukowane pole magnetyczne w odpowiedzi na zewnętrzne pole Jowisza. Wyniki tych pomiarów wymagają istnienia przewodzącej warstwy (prawdopodobnie słonego oceanu) pod lodową skorupą. Według danych przesłanych przez sondę Galileo warstwa wody pomiędzy płaszczem i skorupą może mieć grubość 90 km. Na powierzchni Europy rozpoznano bardzo niewiele kraterów uderzeniowych, co sugeruje stałą aktywność geologiczną, która sprzyja szybkiemu tempu odmładzania powierzchni – ma ok. 30 mln lat. Powierzchnię Europy zdobią wyjątkowe dla tego księżycy lineamenty – brązowo-czerwone rysy. Widoczny w pęknięciach ciemniejszy materiał to najprawdopodobniej sole (kriogeniczne ewaporaty powstałe podczas sublimacji wody) głównych składników rozpuszczonych w wodnym oceanie i uwodniony kwas siarkowy [5, 11].

Enceladus to szósty pod względem wielkości naturalny satelita Saturna. Jego średnica wynosi 504,2 km, średnia gęstość $1,609 \text{ g/cm}^3$, a masa $1,08 \cdot 10^{20} \text{ kg}$. Powierzchnia Enceladusa ma bardzo wysokie albedo (95%) i jest stosunkowo młoda (ok. 100 milionów lat). Jest bogata w twory takie jak kratery, gładkie równiny, rozległe szczeliny i grzbiety. W okolicach południowego bieguna Enceladusa widoczne są podłużne zagłębienia (łac. *sulci*), przypominające „tygrysie pasy”. Sugeruje się [2], że wewnątrz Enceladusa jest zróżnicowane. Według tych sugestii, podział jest spowodowany wytworzeniem ciepła we wnętrzu księżycy przez krótkożyłowe radionuklidy, takie jak ^{26}Al i ^{60}Fe , którymi Enceladus (jak i inne lodowe księżycy Saturna) został wzbogacony podczas okresu jego formowania. Wzbogacenie księżycy tylko w długożyłowe izotopy promieniotwórcze nie wystarczyłoby, by zapobiec szybkiemu zamarzaniu wnętrza, nawet przy jego stosunkowo niewielkim rozmiarze. Biorąc pod uwagę względnie wysoki udział masowy skał we wnętrzu Enceladusa zaproponowane wzbogacenie w ^{26}Al i ^{60}Fe skutkowało zróżnicowaniem budowy księżycy na lodowy płaszcz i skalne jądro. Grzanie pływowe (wynikające z istnienia rezonansu orbitalnego Enceladusa z księżycem Dione) prawdopodobnie podgrzało temperaturę rdzenia do 1000K, wystarczająco, by stopić część wewnętrznego płaszczka, co w efekcie utworzyło ocean wody pod lodową powierzchnią. Dowodów na istnienie ciekłej wody na Enceladusie dostarczono w 2005 roku poprzez obserwacje (za pomocą sondy *Cassini*) pióropuszy pary wodnej wydobywających się z powierzchni na biegunie południowym. Na podstawie pomiarów widmowych w zakresie podczerwonym, wykonanych przez europejskie Kosmiczne Obserwatorium Herschel, w 2011 r. odkryto, że woda tryskająca z Enceladusa tworzy neutralny torus pary wodnej wokół Saturna. Dzięki temu odkryciu zidentyfikowano również, że 3 do 5 procent wody tryskającej z gejzerów na tym księżycu jest źródłem wody w górnych warstwach atmosfery Saturna. Reszta pary wodnej rozprasza się w przestrze-

ni kosmicznej, kondensuje na cząstkach pierścieni lub osiada na innych księżycach. Modele erupcji strumieniowych pokazują, że większość materiału opada z powrotem na powierzchnię księżycy, przy czym niewielki procent ziaren (ok. 9% lub mniej) ulatuje, zasilając pierścień E Saturna [1, 9].

Rozwinięcie

Europa jest prawdopodobnie jednym z najbardziej ekscytujących celów astrobiologicznych w Układzie Słonecznym. Istnienie oceanu pod powierzchnią Europy jest możliwe dzięki potężnym siłom pływowym Jowisza, które deformują satelitę i poprzez dyssypację energii ogrzewają jego wnętrze. Grzanie pływowe i rezonans orbitalny z Io oraz Ganimedesem napędza aktywność tektoniczną oraz kriowulkaniczną na tym księżycu. Obecność kriogejzerów na Europie zasugerowały obserwacje Kosmicznego Teleskopu Hubble'a z 2013, 2014 i 2016 roku, podczas których naukowcy, przy pomocy spektrografu (STIS), dostrzegli pióropusze pary wodnej wznoszące się ponad powierzchnią Europy [12]. Erupcje pary wodnej występowały, kiedy Europa znajdowała się w pobliżu apocentrum i nie rejestrowano ich blisko perycentrum, co sugeruje, że aktywność pióropuszy jest uzależniona od zmian naprężeń powierzchniowych w zależności od położenia Europy na orbicie. Wszystkie pióropusze zaobserwowane przez Teleskop Hubble'a pojawiły się w tym samym miejscu i ich lokalizacja była zgodna z położeniem plamy gorąca, zarejestrowanej na powierzchni księżycy przez sondę Galileo w 1999 roku. Powstanie anomalii termicznej może wynikać z ogrzewania powierzchni księżycy przez wznoszącą się wodę. Inną przyczyną może być to, że woda spadając po erupcji na powierzchnię, jako drobna mgiełka zmienia strukturę ziaren powierzchniowych, pozwalając im zatrzymać ciepło dłużej niż otaczający krajobraz [12, 17].

Na księżycu Europa można zaobserwować kulisto-eliptyczne wypukłe formy terenu, zwane soczewkami (ang. *lenticulae*). Ich wysokość znajduje się w zakresie od 40 do poniżej 100 m, średnica wynosi od 3 do 10 km. Niektóre z soczewek przypominają ziemskie kopuły wulkaniczne (intruzje charakterystyczne dla wulkanizmu krzemianowego), wobec tego rozważa się, że mogą być efektem kriowulkanicznych ekstruzji lepkiego płynu. Ich istnienie tłumaczy się za pomocą dwóch modeli: (1) diapiryzmu (Rys. 1a) lub (2) kriomagmatyzmu (Rys. 1b) [4].

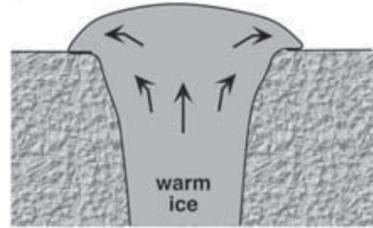
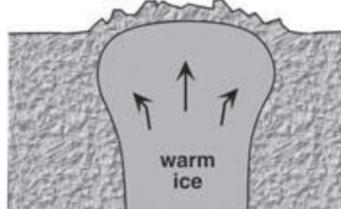
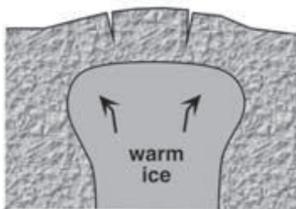
Powierzchnia Europy pokryta jest przez ogromną sieć lineamentów (ang. *lineae*). Wśród nich można wyróżnić: pasy (ang. *bands*), spękania (ang. *troughs*), grzbiety (ang. *ridges*) oraz uskoki (ang. *faults*). Te charakterystyczne liniowe i łukowate struktury są wyraźnymi oznakami procesów tektonicznych, zachodzących pod wpływem sił pływowych oddziałujących na Europę [3]. Różne kierunki pojawiających się pęknięć są spowodowane precesją Europy.

Praca [6] ukazuje model lodowej skorupy Europy, który sugeruje, że na tym księżycu może dochodzić do procesu subdukcji. Wyniki tego modelu są zgodne z wcześniejszymi pracami, pokazującymi, że niektóre regiony Europy zdają się rozrastać, co oznaczałoby, że na tych obszarach może dochodzić do procesu spreadingu. Sugeruje to, że na Europie zachodziła lub

(a) Diapiryzm

wznoszenie powierzchni

zniekształcenie powierzchni

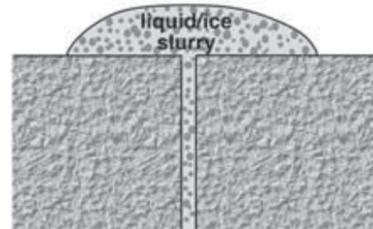
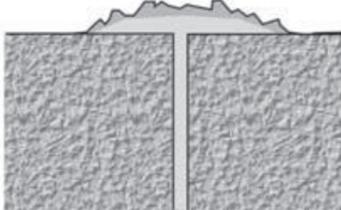
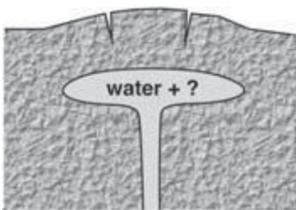
przebicie się przez
powierzchnię i boczne
pełzanie materiału**(b) Kriomagmatyzm**

płytką intruzją,

wznoszenie powierzchni

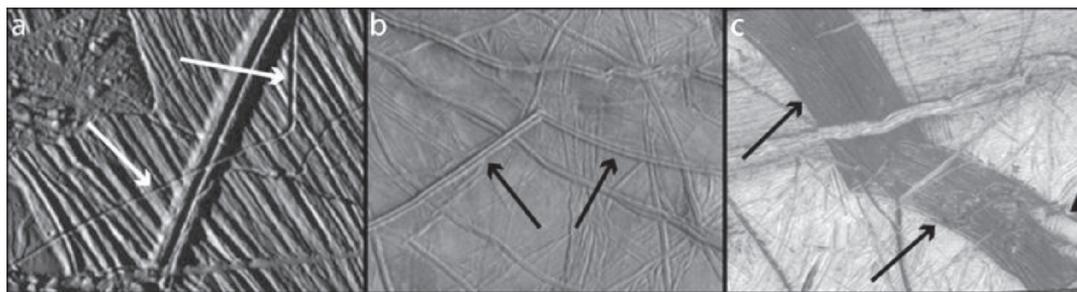
wylew pokryty lodem

lepka ekstruzja



Rys. 1. Mechanizmy formowania się wypukłych soczewek kriowulkanicznych na Europie: (a) diapiryzm, prowadzący kolejno do wzniesienia, spękania i zniekształcenia powierzchni przez diapir wdzierający się w wyżej leżące warstwy oraz przebiccia powierzchni i powolnego lepkiego pełzania; (b) kriomagmatyzm, w którym powstająca intruzja prowadzi do wypiętrzenia, podgrzania, spękania powierzchni, a następnie do pokrytych lodem efuzji lub lepkich ekstruzji [S.A. Fagents, 2003].

wciąż może zachodzić tektonika płyt [6]. Na Ziemi procesy tektoniczne przebiegają w następujący sposób. Materiał skalny, który buduje zewnętrzną warstwę Ziemi zachowuje się jak ciało sztywne tylko do pewnej głębokości. Poniżej tej głębokości pod wpływem wyższej temperatury wykazuje cechy ciała częściowo plastycznego i w skali milionów lat może płynąć. Ta zewnętrzna, prawie sztywna warstwa – litosfera – podzielona jest na płyty tektoniczne, które zgodnie z teorią tektoniki płyt mogą przesuwac się względem siebie na plastycznej warstwie – płaszczu. Subdukcja występuje na Ziemi, ponieważ skorupa jest gęstsza i chłodniejsza niż płaszcz i dlatego czasem w nim tonie. Skorupa księżycy Europa zbudowana jest z lodu, który jest lżejszy niż woda. Model zastosowany w artykule B.C. Johnsona [6] pokazuje, że subdukcja na Europie może zachodzić, jeśli porowatość najbardziej zewnętrznej skorupy lodowej jest niska i warstwa ta zawiera sole, które zwiększałyby gęstość lodu. Zwiększona gęstość skorupy lodowej umożliwiłaby zatopienie się jej w cieplejszym oceanie. Oszacowano, że jeśli zawartość soli wzdłuż warstwy lodu jest jednorodna, porowatość wynosi $\varphi=0,1$, to aby zaszła subdukcja, ilość soli musi mieć wartość przekraczającą około 22%; jeżeli zawartość soli jest niejednorodna



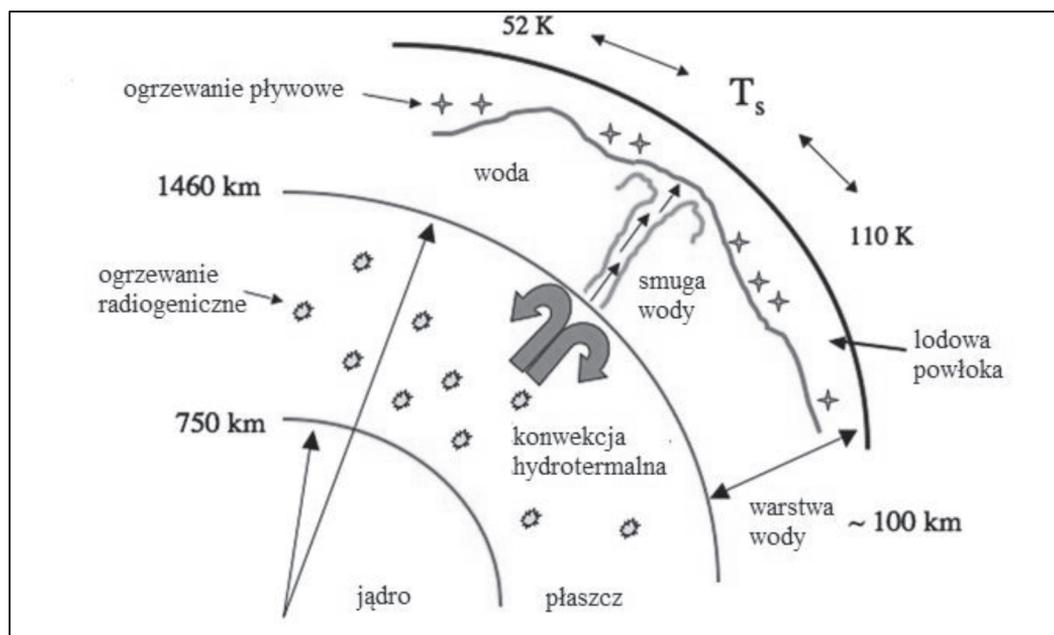
Rys. 2. Przykład spękania (a), podwójnego grzbietu (b) i pasa na powierzchni Europy (c). Zdjęcia wykonane przez sondę Galileo [<http://www.planetary.org/multimedia/space-images/jupiter/examples-of-a-trough-ridge-and-band-on-europa.html>].

wzdłuż warstwy, przy zawartości soli zmieniającej się o kilka procent, subdukcja może wystąpić przy porowatości powierzchni wynoszącej $\varphi=0,1$ i ogólnej zawartości soli około 5%. Analiza spektralna danych z instrumentu NIMS¹ wykazała na powierzchni i w podpowierzchniowej warstwie lodu obecność uwodnionych soli. Wśród nich przeważa uwodniony węglan sodu (natron, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) oraz uwodniony siarczan magnezu ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), możliwymi innymi składnikami są uwodniony siarczan sodu (mirabilit, $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) oraz uwodniony siarczan sodowo-magnezowy ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Jednak ostatnie badania, oparte na spektroskopowych obserwacjach Kosmicznym Teleskopem Hubble'a, wykazały, że w wodnym oceanie Europy może występować chlorek sodu (NaCl). Z zarejestrowanych danych uzyskano spektra, na których zaobserwowano absorpcję w niebieskiej części widma, odpowiadającą chlorkowi sodu, bombardowanemu przez wysokoenergetyczne elektrony, nieustannie padające na powierzchnię księżycy. Chlorek sodu był obserwowany głównie w tzw. terenie chaosu (ang. *chaos terrain*). Jeśli ostatecznie obecność chlorku sodu w podpowierzchniowym wodnym oceanie Europy zostanie potwierdzona, mogłoby to sugerować, że ocean tego księżycy może być bardziej podobny do ziemskich oceanów, niż dotychczas sądzono [7]. Obecność soli na powierzchni mogłaby wynikać z erupcji gejzerów, które rozprzestrzeniłyby na lodowej skorupie Europy materiał, zawierający sole [6] lub mogły zostać wyniesione z wodą na powierzchnię przez szczeliny w lodowej skorupie. Najprostszymi naturalnymi formami powierzchni Europy są liniowe lub łukowate spękania (Rys. 2a). Ich przekrój jest w kształcie litery V, mają ok. 100–300 m szerokości, a ich długość sięga od kilku do kilkuset kilometrów. W stosunku do otaczającego terenu ich brzegi mogą być płaskie lub lekko wyniesione [3]. Najbardziej rozpo-
wszechnionymi strukturami na powierzchni tego księżycy są grzbiety (Rys. 2b), często występujące w formie pary grzbietów rozdzielonych korytem o przekroju w kształcie litery V. Podwójne grzbiety mają średnią szerokość od około 0,5 do około 2 km. Grzbiety czasem występują w całych kompleksach, wtedy mają szerokość od około 5 do około 10 km i składają się z wielu równoległych linii i grzbietów, które mogą przeplatać się lub łączyć ze sobą [10]. Wiele kompleksów i podwójnych grzbietów wykazuje dowody na ruch przesuwczy (ang. *strike-slip*)

¹ NIMS – Near Infrared Mapping Spectrometer – spektrometr mapujący w bliskiej podczerwieni.

wzdłuż ich płaszczyzny, czego nie obserwuje się wzdłuż pojedynczych rowów. Odtworzenie wcześniej istniejących lineamentów dostarcza dowodów na rozciąganie (tensję) w poprzek niektórych grzbietów i ściskanie (kompresję) w poprzek innych. Istnieje wiele modeli powstawania par grzbietów na Europie. Dwa z nich są najbardziej zgodne z obserwacjami. Pierwszy z nich (ang. *tidal squeezing*) sugeruje, że grzbiety na Europie są strukturami podobnymi do ziemskich grzbietów w Oceanie Arktycznym, a ich formacja jest uzależniona od zmiennych naprężeń pływowych. W tym modelu cykliczne naprężenia pływowe, których doświadcza Europa otwierają szczelinę na powierzchni, która na skutek sił penetruje w głąb warstwy kruchego lodu. Kiedy szczelina dociera do spągu warstwy umożliwia wypływ wody z podpowierzchniowego oceanu. Woda wznosząc się ku powierzchni częściowo zamarza i formuje półpłynną strukturę. Następnie kompresja zamyka szczelinę, wynosząc na powierzchnię częściowo zamrożony lód, który tworzy początkową grań grzbietu. Ten proces jest powtarzany podczas całego cyklu pływowego, trwającego 3,5 dnia (okres obiegu Europy wokół Jowisza). Model ten ma pewną komplikację – możliwość szybszego zamarznięcia wody w wąskiej szczelinie, niż nastąpiłby cały cykl pływowy – toteż warunkiem działania tego modelu jest bardzo cienka warstwa lodu. Drugi model (ang. *shear heating*) sugeruje, że ruchy przesuwcze (wynikające z naprężeń pływowych) wzdłuż szczelin powodują wzrost temperatury na skutek tarcia wewnętrznego (lepiej dyssypacji) wzdłuż ścian szczeliny, co prowadzi do podgrzania podpowierzchniowego lodu. Podgrzany lód wznosi się pod szczeliną i tworzy granie grzbietów. Częściowe topnienie mogłoby się pojawiać wzdłuż osi grzbietu, stop miałby tendencję do spływania, tworząc koryto w kształcie litery V. Kolejną powszechną formą na powierzchni Europy są pasy (Rys. 2c). To obszary gładszego terenu o wyraźnych krawędziach. Struktury te prawdopodobnie powstały, gdy bloki kruchej litosfery rozdzieliły się, uwalniając z wnętrza materiał o niskiej lepkości. Niektóre pasy wykazują cechy, sugerujące na inny sposób powstania – wskutek ruchów przesuwczych [3, 11].

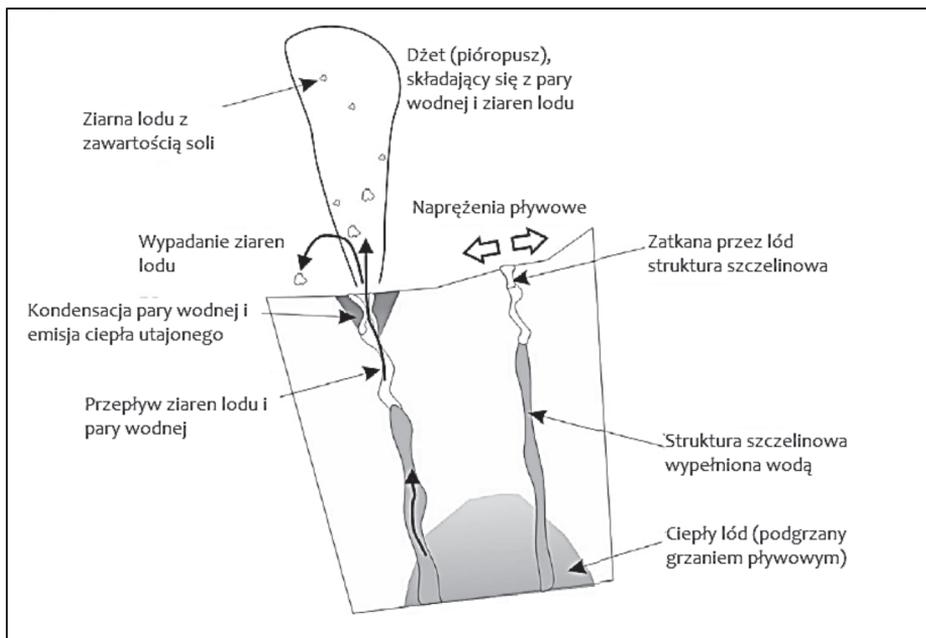
Uważam, że powstawanie spękań, grzbietów i pasów na Europie może być ze sobą powiązane i struktury te mogą stanowić kolejne stadia zachodzącego procesu spreadingu, przebiegającego analogicznie do tego zjawiska zachodzącego na Ziemi. Ciepło generowane we wnętrzu Europy napędza prądy konwekcyjne w skalnym płaszczu (Rys. 3). W niektórych miejscach (prawdopodobnie tam, gdzie strumień ciepła jest największy) na granicy pomiędzy płaszczem i warstwą wody konwekcja wytwarza smugi ciepłej wody. Ogrzana materia wznosi się i przenosi ciepło z dna do oceanu i wzdłuż podstawy warstwy lodowej. Ciepło zmienia strukturę lodu tak, że w tych miejscach, do których docierają smugi cieplejszej wody, staje się on bardziej podatny na pęknięcie. Gdy naprężenia oddziałujące na Europę podczas ruchu po orbicie przekroczą w tych miejscach wartość krytyczną spowodują powstanie spękań. Rozładowanie naprężenia podczas powstania pęknięcia może skutkować uwolnieniem cieplejszego podpowierzchniowego materiału. Wypływający materiał krzepnie, bloki litosfery zaczynają oddalać się od siebie, co powoduje dalsze uwalnianie materiału i rozrost skorupy. Po obu stronach szczeliny tworzą się wzniesienia – grzbiety. Dalsze rozsuwanie się dna i nadbudowywanie go



Rys. 3. Model konwekcji hydrotermalnej w płaszczu Europy. Ciepło radiogeniczne i pływowe występują odpowiednio w płaszczu skalnym i skorupie lodowej [A whole-moon thermal history model of Europa: Impact of hydrothermal circulation and salt transport, 2012].

przez wydobywający się materiał z wnętrza może powodować powstanie pasów. Rozładowaniu naprężenia mogą również towarzyszyć wybuchy kriogejzerów. Nierównomierny ruch skorupy sprawia, że grzbiety i pasy są często poprzecinane przez uskoki. Spękania mogą być strukturami podobnymi do ziemskich ryftów, a grzbiety do grzbietów śródoceanicznych. Na podstawie teorii tektoniki płyt uznaje się, że sumaryczna powierzchnia w przybliżeniu nie zmienia się, ponieważ zakłada się stały promień planety/księżycy. Jeśli na powierzchni Europy zachodzi spreading tworzący nową skorupę, starsza skorupa musi być pochłaniana w procesie subdukcji. Możliwe, że na Europie subdukcja zachodzi w podobnych miejscach, w których następuje to na Ziemi (w okolicach rowów).

Niewielkie rozmiary Enceladusa, wysokie albedo i w efekcie niska temperatura powierzchni (ok. 74,15K (-201°C)) sugerują, że wnętrze Enceladusa powinno ostygnąć niedługo po uformowaniu się księżycy. Obserwacje wykazują coś innego – Enceladus jest stale aktywny w obecnym czasie. Zdjęcia, wykonane przez sondy Voyager w latach 1980 i 1981 oraz od roku 2004 do 2017 przez sondę Cassini, ukazały, że niektóre rejony Enceladusa są całkowicie pozbawione kraterów, podczas gdy inne w nie obfitują. Dodatkowo, powierzchnia księżycy zawiera liczne grzbiety, fałdy i szczeliny, które są wynikiem wewnętrznej aktywności tektonicznej, a na południowym biegunie tego satelity zaobserwowano przejaw kriowulkanizmu w formie gejzerów [13]. Ciągła aktywność geologiczna Enceladusa jest przypisywana ciepłu generowanemu przez odkształcenia pływowe wywoływane oddziaływaniem Saturna i ekscentrycznością orbity Enceladusa (0,004), wymuszoną rezonansem orbitalnym w stosunku 1:2 z księżycem



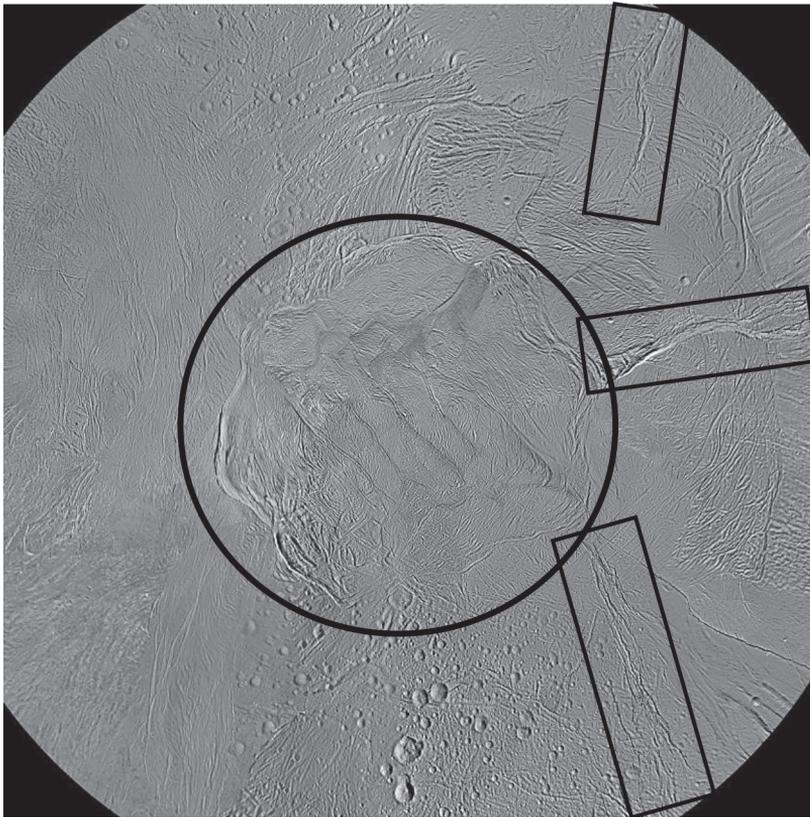
Rys. 4. Model generacji i transportu ciepła i materii gejzerów [Encyklopedia of the Solar System, rozdz. 39, 2014].

Dione. Po raz pierwszy erupcje strumieni pary wodnej, związków organicznych i ziaren lodu (z zawartymi związkami chemicznymi m.in. azotem i tlenem) z południowego bieguna Enceladusa, zarejestrowano w styczniu i lutym 2005 roku za pomocą kamer (ISS) na pokładzie sondy *Cassini*. Pomiarów składu materii gejzerów dokonano, wykorzystując spektrometr mas (INMS) i kosmiczny analizator pyłu (CDA). Analiza zdjęć południowo-południowego terenu Enceladusa pozwoliła, metodą triangulacji, zidentyfikować 101 różnych gejzerów zlokalizowanych wzdłuż pęknięć zwanych „tygrysimi pasami”. Potwierdziło to, w połączeniu z termicznymi pomiarami spektrometrami CIRS i VIMS, że aktywność kriowulkaniczna koncentruje się wzdłuż tych szczelin, i że są one źródłem największych anomalii termicznych. „Tygrysie pasy” wydzielają ciepło w temperaturach od około 180K (−93,15°C) do około 160K (−113,15°C) i są źródłem pióropuszy emitujących ok. 200 kg/s materii składającej się z kryształków lodu o rozmiarze mikrometra oraz pary wodnej z azotem (lub etylenem), dwutlenkiem węgla, wodorem, metanem, amoniakiem i węglowodorami o wyższych masach [10]. Niektóre ziarna obecne w materii pióropuszy są bogate w chlorek sodu i krzem, co wynika z obecności tych pierwiastków w podpowierzchniowym oceanie. „Tygrysie pasy” prawdopodobnie powstały na skutek oddziaływania sił pływowych. Konwekcja, zachodząca w warstwie lodu, pokrywającego podpowierzchniowy ocean na południowym biegunie, napędzana grzaniem pływowym oraz rozpadem radioaktywnych pierwiastków w rdzeniu Enceladusa, zmienia strukturę tego lodu na bardziej plastyczną i podatną na pęknięcie. W tym obszarze u spągu warstwy plastycznego lodu utworzyły się szczeliny, w które wpływała woda ze znajdującego się niżej oceanu. Napór wo-

dy, wraz z oddziaływaniem pływowym, doprowadził do stopniowego powiększania się szczelin w kierunku skorupy i ostatecznie powstania na powierzchni pęknięć – „tygryśkich pasów”. Obecnie taki system szczelin (Rys. 4) prawdopodobnie zapewnia ścieżkę dla cieczy, pary wodnej i ciepła utajonego, wydzielającego się, kiedy para wodna skrapla się i zamarza na ściankach gejzeru w pobliżu powierzchni podczas wydostawania się materiału na powierzchnię i w przestrzeń kosmiczną [9, 10]. Oddziaływanie pływowe, wywołujące naprężenia normalne, jest mechanizmem odpowiedzialnym za rozszerzanie i zwężanie szczelin, a zatem regulującym aktywność pióropuszy. Siła erupcji jest modulowana przez zmienne naprężenia pływowe, jednak nigdy nie osiąga wartości zerowej – szczeliny nigdy się do końca nie zamykają, ale mogą zostać zatkałe lodem powstałym podczas kondensacji pary wodnej u ujścia szczeliny. Maksymalna aktywność gejzerów, jak również maksymalne naprężenia, nie są równomiernie rozłożone na południowym biegunie, lecz koncentrują się na półkuli skierowanej w stronę Saturna. Pewne odstępstwa od cyklu pływowego mogą być spowodowane np. różnymi rodzajami libracji Enceladusa. Prawdopodobnie we wcześniejszych okresach geologicznych inne części Enceladusa podlegały procesom podobnym do tego, co obecnie obserwuje się na obszarze bieguna południowego. Zarejestrowane dane i powstałe na ich podstawie interpretacje sugerują, że pod skorupą lodową Enceladusa w obszarze bieguna południowego istnieje obecnie regionalne morze, a nie globalny ocean [10]. Równinną powierzchnię Enceladusa, pod względem występowania form geologicznych można podzielić na trzy główne tereny.

1. Teren starszy, obfitujący w kraterę (ang. *cratered terrain*), obejmujący obszar polarny wokół bieguna północnego oraz pasy, rozciągające się wokół księżycy od bieguna północnego.
2. Teren młodszy, gęsto pokryty równoległymi grzbietami i korytami/spękaniem (ang. *fractured terrain*), obejmujący pas ciągnący się od równika w kierunku biegunów (do około 45° szerokości północnej i południowej).
3. Południowy obszar polarny (ang. *south polar terrain*), teren najmłodszy, rozciągający się na południe od szerokości 55°S. W centralnej części tego obszaru znajdują się pęknięcia, zwane „tygrysimi pasami”. Południowy region polarny jest obniżony w stosunku do otaczającego terenu o około 0,5 km – materia wydostająca się z głębi płaszcza oraz topnienie lodu na skutek emisji ciepła na tym obszarze prowadzą do subsydencji (zachodzącej z prędkością ok. 0,5 mm/rok).

W obecnym czasie aktywność tektoniczna oraz wulkaniczna koncentruje się na południowym obszarze polarnym Enceladusa. Kilka cech powierzchni wskazuje na to, że aktywność geologiczna występowała na pozostałych terenach we wcześniejszych okresach. Jest to obecność spękań, grzbietów, fałdów i uskoków oraz oznaki lepkiego odprężenia u prawie wszystkich dużych kraterów uderzeniowych, co wskazuje na zwiększony przepływ strumienia ciepła na tych obszarach [3, 9]. Dokładniejsze obserwacje południowego regionu polarnego ukazały, że „tygryśkie pasy” są formami podobnymi do ziemskich grzbietów oceanicznych z ryftem [16]. Sugeruje to, że wzdłuż „tygryśkich pasów” może zachodzić proces *spreadingu* pod wpływem, którego mogły powstać grzbiety po obu stronach szczelin, jednak na długości tych struktur nie



Rys. 5. Południowa półkula Enceladusa z zaznaczonym kółkiem południowym obszarem polarnym oraz prostokątami przykładami kotlin (ang. *chasmata*) [<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA14940>].

obserwuje się ich znacznego poszerzenia pod wpływem tego procesu. Może to wynikać z ciągłego nadbudowywania materiałem opadającym na powierzchnię księżyca po erupcjach gejzerów. Inną przyczyną może być zachodząca na południowym obszarze polarnym powolna subsydencja, która co jakiś czas powoduje zwięzienie rozrastającej się litosfery wzdłuż szczelin. Gęsto ułożone, pofałdowane grzbiety po bokach „tygrysih pasów” prawdopodobnie są efektem zachodzącego procesu spreadingu oraz subdukcji. Rozrastanie dna w jednym miejscu oznacza, że starsza litosfera musi być kompensowana w innym miejscu poprzez proces subdukcji lub kontrakcji. Przyglądając się obrazowi południowego obszaru polarnego można zauważyć, że „tygrysie pasy” są prawie w całości otoczone pierścieniem grzbietów, które przy lepszym oświetleniu wydają się być łańcuchem gór (Rys. 5). Ten łańcuch gór może być efektem kontrakcji skorupy w wyniku kompresji. Wypiętrzone masy, tworzące łańcuch wzniesień są lekko sfałdowane i w niektórych miejscach zuskokowane (uskoki przesuwcze), co może być efektem kompresji [16]. Liniowe i łukowate spękania (ang. *troughs*) obserwuje się powszechnie na powierzchni Enceladusa, na każdym typie terenu. Prawdopodobnie powstały one w przypowierzchniowej warstwie kruchego lodu na skutek lokalnych lub regionalnych tensyjnych naprężeń pływowych. Inną tektoniczną strukturą na powierzchni Enceladusa są podłużne

doliny (ang. chasma, w liczbie mnogiej chasmata) o stromych zboczach (Rys. 5). Dzieli się je na dwa rodzaje.

1. Wąskie doliny/chasmaty – formy liniowe lub łukowate o płaskim podłożu. Ich szerokość znajduje się w zakresie 0,8–3 km, długość od 10 do 100 km, a głębokość od 0,7 do 3,2 km.
2. Szerokie doliny/chasmaty – struktury łukowate o szerokości od 4 do 35 km, głębokości od 0,7 do 3,6 km i długości kilkuset km.

Zidentyfikowane doliny są najszersze na południu, gdzie przecinają się z granicą południowego obszaru polarnego i zwężają się w kierunku północnej półkuli. Struktury te zaobserwowano również na terenie rozciągającym się od równika do ok. 45°N i S. Bazując na dużym podobieństwie tych form do takich struktur na Ziemi i na Marsie zasugerowano, że wąskie doliny są strukturami analogicznymi do rowów tektonicznych lub systemu rowów tektonicznych, gdy współwystępują z innymi wąskimi dolinami, a szerokie doliny są odpowiednikami dolin ryftowych [9]. Podobieństwo do ziemskich struktur sugeruje zbliżony mechanizm powstawania. Obydwa rodzaje dolin mogły powstać wskutek naprężeń rozciągających i zapadnięcia się materii na skutek przerwania ciągłości skorupy. W przypadku szerokich dolin system uskoków normalnych wzdłuż pęknięcia mógł spowodować silniejszą (większą) dyslokację, w efekcie zapadanie się większej partii materiału i powstanie głębszych i szerszych dolin.

Wnioski

Spoglądając na najbliższe nam ciało niebieskie – Księżyc, mogłoby się wydawać, że naturalne satelity to nieaktywne obiekty. Podróż za pas planetoid ukazuje coś zupełnie odmiennego. Na kilku księżycach planet gazowych zachodzą procesy przypominające te, które obserwuje się na Ziemi, choć często bardziej (np. wulkanizm na Io) lub mniej intensywne (np. procesy tektoniczne na Enceladusie). Aktywność kriowulkaniczna na Enceladusie została potwierdzona, dzięki badaniom sondy *Cassini*. Procesy tektoniczne na Enceladusie oraz procesy kriowulkaniczne i tektoniczne na Europie są obserwowane i wskazuje na nie wiele cech powierzchni, jednak wciąż wymagają ostatecznego potwierdzenia. Dowodów na to mogą dostarczyć przyszłe misje kosmiczne w kierunku niezwyklej księżyców planet olbrzymich. Jedną z najbardziej obiecujących przyszłych misji jest misja ESA sondy *JUICE*, która wykona dokładniejsze pomiary Europy (oraz Ganimedesa i Kallisto) i potwierdzi obecność podpowierzchniowego oceanu, a jej start jest zaplanowany na 2022 rok. W kierunku Jowisza, w celu zbadania Europy, przygotowywana jest również misja NASA – Europa Clipper, której start może nastąpić w połowie lat 20. XXI wieku. W kierunku Saturna została zaproponowana misja celem wykonania dalszych badań Enceladusa i Tytana w ramach programu ESA Voyage 2050 [14]. Do Enceladusa została również zaproponowana prywatna misja, wspierana przez NASA, Enceladus Life Finder w celach poszukiwania życia na tym księżycu.

Literatura

- [1] Carroll M., *Living Among Giants. Exploring and Settling the Outer Solar System*, Springer 2015.
- [2] Castillo-Rogez J.C. i in., *The early history of Enceladus: Settings the scene for today's activity*, 38th Lunar and Planetary Science Conference, 2007, abstract nr 2265.
- [3] Collins R.C. i in., *Planetary tectonics*, Rozdział 7: *Tectonics of the outer planet satellites*, Cambridge University Press 2010.
- [4] Fagents S.A., (2003). *Considerations for effusive cryovolcanism on Europa: The post-Galileo perspective*, Journal of Geophysical Research, 2003. DOI: 10.1029/2003JE002128
- [5] Faure G., Mensing T.M., *Introduction to Planetary Science. The Geological Perspective*, Springer 2007.
- [6] Johnson B.C. i in., *Porosity and Salt Content Determine if Subduction Can Occur in Europa's Ice Shell*, Journal of Geophysical Research: Planets, 2017. DOI: 10.1002/2017JE005370
- [7] Kornei K., *Mmm, salt—Europa's hidden ocean may contain the table variety*, Eos, 100, 2019. DOI: 10.1029/2019EO127617
- [8] Nahm A.L., Kattenhorn S.A., *A unified nomenclature for tectonic structures on the surface of Enceladus*, Icarus, 2015. DOI: 10.1016/j.icarus.2015.06.009
- [9] Nimmo F., Porco C., *Encyklopedia of the Solar System*, 3rd Edition, rozdz. 39: *Enceladus*, Elsevier 2014.
- [10] Porco C., DiNino D., Nimmo F., *How the geysers, tidal stresses and thermal emission across the South Polar Terrain of Enceladus are related*, The Astronomical Journal, 2014. DOI: 10.1088/0004-6256/148/3/45
- [11] Prockter L.M., Pappalardo R.T., *Encyklopedia of the Solar System*, 3rd Edition, rozdz. 36: *Europa*, Elsevier 2014.
- [12] Sparks W.B. i in., *Active Cryovolcanism on Europa?*, The Astrophysical Journal Letters, 2017. DOI: 10.3847/2041-8213/aa67f8
- [13] Spencer J.R. i in., *Saturn from Cassini-Huygens*, 2009. Rozdz. 21: *Enceladus An Active Cryovolcanic Satellite*.
- [14] Sulaiman A.H. (2019), *Enceladus and Titan: Emerging Worlds of the Solar System*, 2019. White paper submitted in response to Voyage 2050 long-term plan in the ESA Science Programme.
- [15] <https://solarsystem.nasa.gov/moons/overview/>
- [16] <https://www.simonhanmer52.ca/outer-moons-update-2010.html>
- [17] <http://www.sci-news.com/space/hubble-water-vapor-plume-europa-04783.html>